

**DISEÑO DE UNA PLATAFORMA PARA EL ANÁLISIS DE INDICADORES  
PROSPECTIVOS PARA APLICACIONES ENERGÍA AMBIENTE ECONOMÍA**

**JUAN ESTEBAN RESTREPO CARDONA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MINAS  
SEDE MEDELLÍN  
MEDELLÍN, 2009**

**DISEÑO DE UNA PLATAFORMA PARA EL ANÁLISIS DE INDICADORES  
PROSPECTIVOS PARA APLICACIONES ENERGÍA AMBIENTE ECONOMÍA**

**JUAN ESTEBAN RESTREPO CARDONA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE  
SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**DIRECTORA  
PATRICIA JARAMILLO ÁLVAREZ  
PROFESORA ASISTENTE**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MINAS  
SEDE MEDELLÍN  
MEDELLÍN, 2009**

## CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
ALCANCE.....	9
OBJETIVOS .....	10
<b>1. FORMULACIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1 MARCO TEÓRICO.....	11
1.1.1 ESQUEMA DE MODELAMIENTO ENERGÍA – AMBIENTE – ECONOMÍA .....	11
1.1.2 INDICADORES PROSPECTIVOS.....	13
1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE INDICADORES .....	14
1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS INDICADORES .....	16
1.2.2 ESQUEMA GENERAL EAE INDUSTRIA Y TRANSPORTE .....	19
<b>2. IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>3. SISTEMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES.....</b>	<b>36</b>
3.1 ESTRUCTURA GENERAL DE LA PLATAFORMA .....	37
3.2 BASE DE DATOS .....	38
3.3 APLICATIVO WEB.....	40
3.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SIG .....	42
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
4.1 EJEMPLO 1.....	45
4.2 EJEMPLO 2.....	46
4.3 EJEMPLO 3.....	48
4.4 EJEMPLO 4.....	52
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Actividades .....	16
Figura 2. Sistema Energético de Referencia sector transporte 2006.....	20
Figura 3. Sistema Energético de Referencia, sector industria 2006 .....	21
Figura 4. Zonas críticas por calidad del aire, definidas en el proyecto POMCA. Fuente para la definición de zonas para indicadores geográficos. Subíndice j .....	30
Figura 5. Esquematización de la plataforma de trabajo EAE.....	38
Figura 6. Pantallazo 1, Interfaz de consulta, aplicativo web. ....	41
Figura 7. Pantallazo 2, Interfaz de consulta, aplicativo web. ....	42
Figura 8. Pantallazo 3, Interfaz de consulta, SIG-EAE. ....	43
Figura 9. Pantallazo 4, Interfaz de consulta, SIG-EAE. ....	44
Figura 10. Distribución porcentual de los costos para los escenarios de restricciones de Metroplús.....	46
Figura 11. Emisiones por habitante de CO, CO <sub>2</sub> y MP en el Valle de Aburrá para los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0 y ESC1REG1 y ESC2REG1. ....	48
Figura 12. Porcentaje del consumo de cada Energético en el sector transporte para los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0. ....	51
Figura 13. Porcentaje del consumo de cada Energético en el sector transporte para los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0. ....	52
Figura 14. Cambio porcentual de los costos del sistema con respecto al año anterior .....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Restricciones sobre los escenarios de demanda formulados para el modelo MARKAL-Tte AMVA .....	21
Tabla 2. Restricciones de análisis formuladas para el modelo MARKAL-Industria 2006.....	22
Tabla 3. Índices.....	24
Tabla 4. Listado de escenarios por modelo. Subíndice s.....	25
Tabla 5. Listado de Energéticos. Subíndice e.....	26
Tabla 6. Listado de dispositivos de demanda. Subíndice d .....	26
Tabla 7. Listado de demandas finales consideradas. Subíndice k.....	27
Tabla 8. Listado de subsectores industriales. Subíndice l .....	27
Tabla 9. Listado de contaminantes modelados. Subíndice p.....	28
Tabla 10. Listado de años modelados sector Transporte. Subíndice t .....	28
Tabla 11. Listado de años modelados sector Industria. Subíndice t.....	28
Tabla 12. Listado de zonas geográficas. Subíndice j.....	28
Tabla 13. Listado de variables. ....	30
Tabla 14. Formulación de indicadores .....	31

## **LISTA DE ANEXOS.**

ANEXO 1 Formulación matemática de los indicadores .....	58
---	----

## **RESUMEN**

Esta propuesta de Trabajo Dirigido de Grado, TDG, se formula en el marco de los proyectos de investigación que se vienen desarrollando desde el año 2004 bajo el esquema Energía Ambiente Economía (EAE) usando el modelo Markal como un sistema para el apoyo a la toma de decisiones en planeación (DSS) de proyectos en los sectores industria y transporte y sus dimensiones e impactos energéticos, económicos y ambientales. En general, para cada uno de los escenarios prospectivos desarrollados, se formulan y se generan indicadores los cuales pretenden valorar el impacto de diferentes alternativas, por ejemplo, de diseño energético y ambiental para Metroplus o sustitución energética en la industria.

Con la realización de esta TDG se pretende facilitar el entendimiento, uso y gestión de los resultados de los modelos por parte de los decisores, y aportar en el diseño de herramientas prospectivas.

Palabras Claves: prospectiva, indicadores, modelamiento, aplicativo

## **ABSTRACT**

This proposal Directed Work Grade, TDG, is formulated within the framework of investigation projects that have been developed since 2004 under the scheme Economy Energy Environment (EAE) using the Markal model as a system for the support to the decision making in planning (DSS) of projects in the sectors industrial and transport and its dimensions and impacts energy, economic and environmental. In general, for each one of the developed prospective scenes, they are formulated and indicators are generated which try to value the impact of different alternatives, for example, of energy and environmental design for Metroplus or substitution energetics in the industry.

With the accomplishment of this TDG it is tried to facilitate the understanding, use and management of the results of the models on the part of the decision makers, and to contribute in the design of prospective tools.

Key Words: prospective, indicators, models, applications

## INTRODUCCIÓN

Según Medina<sup>1</sup>, mediante el proceso de toma de decisiones se realiza la elección de una solución a un problema entre las alternativas disponibles, la diferencia entre cada una de estas es la forma en la cual se llega a ella y las consecuencias que trae consigo su elección. Este proceso de toma de decisiones está enmarcado en la solución de problemas donde se encuentran al menos más de una alternativa de solución, de lo contrario la decisión se reduciría a llevar o no a cabo la acción correspondiente

En algunas situaciones es difícil saber de manera intuitiva cual es la mejor solución a nuestro problema, por lo que se hace necesario utilizar un sistema de apoyo a las decisiones (DSS, definido así por sus siglas en inglés Decision Support System), por medio del cual se estime y evalúe las posibles alternativas para tener una mejor visión de las causas que se generarían al tomar una decisión; es responsabilidad del decisor tomar la alternativa más conveniente basado en dichas estimaciones. Un DSS "combina recursos intelectuales individuales con las capacidades de un ordenador para mejorar la calidad de las decisiones (son un apoyo informático para los encargados de tomar decisiones sobre problemas semiestructurados)"<sup>2</sup>

Aunque los DSS brinden un apoyo informático a los tomadores de decisiones, los resultados que éste arroja muchas veces no son suficientes para entender completamente la dinámica del problema que se está abordando y le es necesario utilizar otras herramientas e indicadores que permitan y faciliten el entendimiento de dichos resultados.

Con la realización de este Trabajo Dirigido de Grado, TDG, se pretende facilitar el entendimiento, uso y gestión de los resultados arrojados por modelos de planeación tipo DSS con metodologías de escenarios y otros métodos en investigación de operaciones, implementando un sistema de indicadores prospectivos como herramienta de análisis para sus resultados, y proporcionando al tomador de decisiones una plataforma informática adecuada para el despliegue de los indicadores. Se diseña una plataforma con un

---

<sup>1</sup> MEDINA, Ramón. *Toma de decisiones*. [En línea] (2006) [última consulta: 20 de marzo del 2009]. Disponible en <<http://ramonmedina.name/files/universidad/td/td0001.pdf>>.

<sup>2</sup> PGW Keen, MSS Morton. *Decision support systems: an organizational perspective*. Addison-Wesley Publishing Company, 1978.



aplicativo web para la consulta directa de los indicadores en formato tabular, y un sistema de información geográfica, SIG, que facilitará el análisis de los indicadores por medio de representación espacial y de gráficas.

Este trabajo está organizado en seis capítulos, el capítulo uno aborda todo el diseño del sistema de indicadores. El capítulo dos trata sobre la implementación del sistema de indicadores. El capítulo tres explica la arquitectura y funcionamiento de toda la plataforma para la generación y despliegue de los resultados e indicadores. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos con los indicadores y algunos ejemplos de situaciones donde la consulta de indicadores puede ser valiosa para la solución de problemas o la gestión. Y en los dos últimos capítulos se presentan algunas conclusiones obtenidas del desarrollo de este trabajo y la bibliografía utilizada para su realización. Se presenta también un capítulo de anexos que contienen la formulación matemática completa de los indicadores y algunos elementos de ayuda para la consulta de indicadores en las bases de datos.

## **ALCANCE**

Este TDG se formula en el marco de los proyectos de investigación que se vienen desarrollando desde el año 2004 bajo el esquema Energía Ambiente Economía, EAE, usando el modelo Markal como un sistema para el apoyo a la toma de decisiones en planeación (DSS) de proyectos en los sectores industria y transporte y sus dimensiones e impactos energéticos, económicos y ambientales para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, AMVA.

Mediante la participación en estos proyectos, se logra la implementación de un sistema de indicadores prospectivos para el análisis de los resultados del proyecto “Evaluación de alternativas para la planificación energética sostenible de los sectores industrial y transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”<sup>\*</sup> y en general para los proyectos desarrollados bajo el esquema Energía Ambiente Economía. Este sistema de indicadores se presenta como un desarrollo particular guiado a la síntesis y gestión de los resultados de los proyectos de análisis y, como un desarrollo novedoso en cuanto vincula un sistema de análisis en un marco prospectivo definido por la metodología de escenarios del esquema EAE. Al respecto no se pretende realizar un desarrollo

---

<sup>\*</sup> Convenio 612 de 2005, Documento Final 2007, entre Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

conceptual en materia de prospectiva sino acoplar a los escenarios de análisis de los proyectos de referencia, indicadores que permitan medir y valorar la pertinencia del escenario, calificar uno respecto a otros y en esta medida aportar herramientas que permitan seleccionar el esquema regulatorio al que se desea tender en la región y propiciar las medidas y proyectos necesarios, embebidos en la configuración de cada uno de los escenarios.

El despliegue de los indicadores implica su integración a la plataforma de trabajo EAE\*, la cual, es un conjunto de aplicativos informáticos que se han venido desarrollando al margen de la ejecución de los proyectos de referencia, permitiendo así que tanto los indicadores como los resultados de los modelos realizados en cada proyecto se almacenen en una base de datos central para ser consultados a través de dichos aplicativos.

## **OBJETIVOS**

Diseñar e implementar un sistema de indicadores para el análisis de resultados de las aplicaciones del esquema energía ambiente economía en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

- Aportar en la conceptualización del análisis prospectivo a través de indicadores.
- Integrar el sistema de indicadores a un aplicativo de consulta web y un sistema de información geográfica para la visualización de los resultados.

---

\* La plataforma de trabajo EAE no es un producto acabado, por el contrario, ésta se actualiza constantemente de acuerdo a las necesidades de cada uno de los proyectos que se encuentran en ejecución; así la plataforma incorpora nuevas funcionalidades según los requerimientos de cada proyecto. A la fecha, la plataforma sigue evolucionando y mejorando las versiones anteriores.

## **1. FORMULACIÓN**

### **1.1 MARCO TEÓRICO**

Para comenzar a hablar del sistema de indicadores prospectivos desarrollados como producto de este TDG y de la participación en el “Grupo de Análisis y modelamiento Energía-Ambiente-Economía”, es necesario en primera instancia hablar de manera general del esquema de modelamiento Energía-Ambiente-Economía y del proyecto “Evaluación de alternativas para la planificación energética sostenible de los sectores industrial y transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”, como cimientos de los cuales se despliegan dichos indicadores; además presentar de forma global un acercamiento al concepto de indicadores prospectivos, con el fin de generar claridad y coherencia para el lector.

#### **1.1.1 ESQUEMA DE MODELAMIENTO ENERGÍA – AMBIENTE – ECONOMÍA**

El esquema de modelamiento Energía Ambiente Economía, EAE, permite simular estrategias de desarrollo para la planeación de cualquier localidad, región o nación, buscando que los intereses energéticos, ambientales y económicos no estén en contraposición, y por el contrario se integren, orientando esfuerzos a la eficiencia, economía y mejoramiento del medio ambiente, permitiendo la evaluación de los impactos económicos (costos de inversión, operación y mantenimiento, fijos y variables, entre otros), energéticos (consumos de combustible), y ambientales (emisiones de contaminantes) desde acciones individuales hasta acciones colectivas.

Desde el año 2004 se ha venido introduciendo este tipo de modelamiento como un instrumento de apoyo a la toma de decisiones para el análisis y planeación en entornos urbanos, como los sectores transporte o industria, en las principales entidades planificadoras de la Región Metropolitana. Estas aplicaciones se realizaron con el modelo MARKAL, el cual es uno de los modelos tipo EAE más ampliamente usados en el mundo.

El modelo MARKAL es un modelo de programación lineal multi-periodo, caracterizado por la representación detallada de los dispositivos tecnológicos y

los energéticos en cada etapa de extracción, transformación, distribución y consumo del sistema energético de una región (...) El modelo evalúa diferentes combinaciones energético-tecnológicas para cumplir las demandas y optimizar una función objetivo, dada típicamente como una función de mínimo costo. Un número de dispositivos tecnológicos de demanda compiten para satisfacer una demanda en particular y un número de tecnologías de producción competirán para producir los energéticos<sup>3</sup>.

La solución del modelo apunta a la satisfacción de un conjunto de demandas especificadas exógenamente, para todos los periodos de tiempo. Estas demandas están en términos de las necesidades energéticas de los subsectores socioeconómicos en consideración, por ejemplo procesos industriales, calentamiento de agua para el sector residencial, movilidad de pasajeros en el sector transporte, etc<sup>4</sup>.

En general, los modelos del tipo EAE, permiten evaluar los impactos resultantes sobre la matriz de energéticos y sobre las emisiones de contaminantes de manera objetiva y cuantificable, como producto de alguna modificación sobre el sistema. Así, la parte ambiental deja de ser un criterio ponderado subjetivamente en los análisis y pasa a ser un indicador real de eficiencia energética y de bienestar<sup>5</sup>.

En el caso particular del proyecto marco, “Evaluación de alternativas para la planificación energética sostenible de los sectores industrial y transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”, se ofrece un análisis integrado de variables energéticas, económicas y ambientales de los sectores industria y transporte de la región Metropolitana.

Para el sector transporte se evaluaron escenarios asociados al Plan Maestro de Movilidad 2006-2020 de la región según diferentes niveles de éxito de los planes de integración modal del transporte colectivo público y diferentes características tecno-energéticas y de demanda de cada modo. Los resultados muestran los beneficios ambientales, energéticos y económicos de la integración modal en la región y de la

---

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Empresas Publicas de Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. “Evaluación integrada ambiente - energía - economía para la planificación sostenible de núcleos locales, caso de aplicación Área Metropolitana del Valle de Aburrá”. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2005.Pp. 7

<sup>4</sup> Ibid., Pp.7

<sup>5</sup> Ibid., Pp.8

introducción de energéticos más limpios en la canasta, especialmente la masificación del gas natural. Igualmente se analizó el sistema de transporte masivo de pasajeros, de mediana capacidad, Metroplús, para diferentes alternativas: buses impulsados con gas natural vehicular, buses impulsados con diesel local, buses impulsados con Euro-diesel III importado desde el golfo de México, una flota de buses mixta en proporciones 50/50 gas natural y diesel local y buses híbridos de diesel local. Los resultados resaltan las ventajas ambientales y económicas de la utilización de gas natural vehicular en este sistema, por encima de las demás alternativas tecnológicas consideradas.

Para el sector industrial se evaluaron diferentes escenarios de cambio en la vocación tecno-energética de las industrias y sus impactos en términos económicos y sobre las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Así, el análisis ofrece una plataforma de discusión para la viabilización y priorización de proyectos y/o instrumentos económicos o regulatorios, encaminados a la reducción de emisiones de contaminantes en las industrias, soportado en un análisis integral de metas de reducción para la región<sup>6</sup>.

### **1.1.2 INDICADORES PROSPECTIVOS**

Los indicadores pueden considerarse como una de las herramientas de gestión más importantes en cuanto reportan a decisores y analistas, información sintetizada y prevalorada sobre una situación en particular. La valoración de la información para la construcción de un indicador incluye la comparación y jerarquización de dicha información frente a otros datos o variables relevantes del entorno a gestionar y por tanto la información que ofrece incluye procesos de medición, valoración y calificación facilitando el análisis de tendencias en la información, cualitativas o cuantitativas según la necesidad. Así, la implementación de sistemas de indicadores facilita la valoración del éxito o evolución en el tiempo de los procesos de gestión.

Los sistemas de indicadores se usan de forma típica para ir midiendo diferentes impactos sobre un sistema. En general se realizan sobre información

---

<sup>6</sup> Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. "Evaluación de Alternativas para la Planificación Energética Sostenible de los Sectores Industrial y Transporte del Área Metropolitana del Valle De Aburrá". Medellín, Colombia, 2007.

instantánea, es decir para datos actuales recopilados en las variables a medir, y se actualiza cada año a medida que se tiene información. En ese sentido sirven para hacer análisis histórico y analizar la evolución y tendencias de las variables medidas.

Existe gran cantidad de literatura sobre indicadores, disponible en internet y en medio físico, que incluye desde la conceptualización y la metodología de construcción de indicadores hasta la posibilidad de revisión de sistemas de indicadores de diversas naturalezas y entidades -locales, nacionales e internacionales-. Para mayor consulta se remite al lector a la búsqueda y revisión de dicha literatura, entre otros [ 2] [ 4] [ 11].

El sistema de indicadores desarrollado difiere de ese modelo en cuanto propone diseñar los indicadores para medir la evaluación de propuestas de escenarios futuros. En ese sentido se analiza la evolución de los indicadores y se puede tomar decisiones sobre cual escenario será más benéfico en el largo plazo o cuáles son los umbrales que promueven resultados deseables.

## **1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE INDICADORES**

Si bien, la utilización de modelos bajo el esquema EAE han servido como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en materia de planeación de ciudad desde el punto de vista energético, económico y ambiental, la interpretación de los resultados de estos modelos no son siempre fáciles de entender por parte del decisor, es por esto, que surge la necesidad de implementar un sistema de indicadores que facilite el entendimiento de dichos resultados.

Para que el sistema de indicadores sea de gran utilidad se plantea frente a tres características importantes, un análisis prospectivo, un análisis geográfico y un análisis sistemático. Cada una de estas explicadas a continuación:

### **Análisis prospectivo**

El sistema de indicadores se diseña para medir la evaluación de propuestas de escenarios futuros y así poder tomar decisiones sobre cual escenario será más benéfico en el largo plazo. El análisis entonces requiere entender que la selección de un escenario por encima de otro implica que para llevarlo a realidad en la gestión, se deben garantizar, facilitar o promover la realización de acciones para configurar las características que definieron el escenario.

## **Análisis geográfico**

El análisis geográfico se propone como elemento importante porque ofrece una visión de análisis por zonas\* y permite jugar con diferentes escalas. Los análisis referidos a zonas geográficas permitirán presentar resultados de eficiencia en la gestión y seguimiento, para zonas con conflictos ambientales por emisiones de fuentes fijas y/o brindar balances o elementos técnicos de seguimiento para diferentes planes o proyectos en distintas zonas de la región.

Este aspecto que se presenta en más detalle en la siguiente sección, es muy importante puesto que a pesar de que los resultados de los modelos se ofrecen a escalas geográficamente desagregadas, las consultas por zonas representa una tarea que requiere un nivel de especialización en el entendimiento del modelo. Los indicadores entonces pretenden sistematizar esa tarea para diferentes zonas geográficas seleccionadas según su relevancia en la gestión de proyectos para mejora de calidad del aire.

## **Análisis sistemático**

El despliegue de los resultados de los indicadores debe hacerse por medio de aplicativos informáticos que le brinden al decisor las herramientas necesarias para la interpretación de los indicadores, y de igual manera, para el desarrollador o analista le debe ser fácil la generación y actualización de los indicadores cuando sus fuentes cambien. Esta sistematización se realiza mediante los aplicativos ya desarrollados entorno a la ejecución de los proyectos de referencia, los cuales consta de una base de datos para el almacenamiento de la información y resultados de los modelos, un aplicativo vía Web como interfaz general para la consulta directa de la base de datos y un sistema de información geográfica, SIG, para la representación espacial de la información de los proyectos. La sistematización del sistema de indicadores se explica más detalladamente en el capítulo 3.

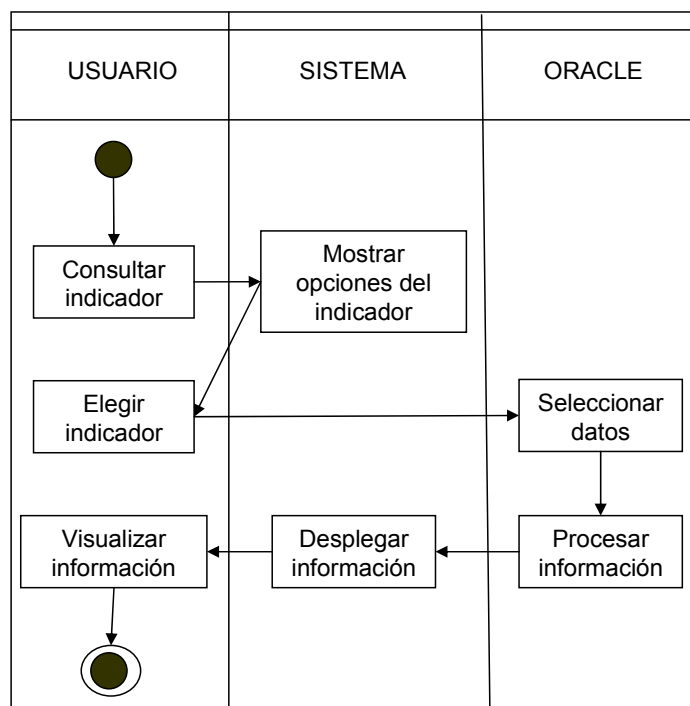
La consolidación del sistema y su sistematización progresiva en función de los resultados constituye un aporte novedoso y una herramienta de análisis de gran importancia para el diseño de proyectos de gestión a partir de los resultados.

---

\* Las zonas a las que se harán referencia son todas comprendidas bajo el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, debido a que son las zonas analizadas en el los proyectos marco de referencia.

Para detallar los procesos que se llevarán a cabo dentro del entorno en el que el sistema de indicadores va a interactuar, se utilizará un diagrama de actividades que permita modelar los aspectos dinámicos de éste, ver Figura 1

Refiérase a sistema como el aplicativo por el que se desplegarán los resultados de los indicadores, ya sea el SIG o vía Web.



**Figura 1. Diagrama de Actividades**

En las siguientes dos secciones se presenta la propuesta de definición de indicadores para el análisis entre escenarios EAE formulados para los modelos Industria y transporte del proyecto de referencia

### **1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS INDICADORES**

Los indicadores formulados se diseñaron para el análisis de la evolución de diferentes resultados de cada una de las dimensiones EAE, para un escenario en particular o para comparación de varios escenarios. En este sentido se definen cerca de 40 indicadores que pueden evaluarse de diversas formas, según pertinencia, esto es, cada indicador puede evaluarse para un escenario,



o para varios escenarios de forma comparativa o puede estimarse de forma agregada o por zona geográfica, etc. Así se proponen tres formas de clasificación con el propósito de organizar mejor los análisis en el informe y en los aplicativos y presentar mejor el alcance de los mismos. Criterios de clasificación:

- ✓ Número de escenarios de análisis
- ✓ Dimensiones de análisis
- ✓ Carácter espacial

Un indicador puede clasificarse en todos los criterios, por ejemplo un indicador puede ser útil para comparar 2 escenarios respecto a la variable económica en un municipio específico.

El criterio *Número de escenarios* de análisis se refiere a si el indicador es útil para analizar la evolución de una variable en el tiempo en un escenario o si es útil para comparar varios escenarios. Así:

- Indicadores de referencia entre escenarios: Indicadores que permiten el análisis comparativo entre los diferentes escenarios de modelación, ya sea de resultados totales, o de resultados periodo a periodo en el horizonte de planificación.

Los indicadores de comparación permiten conocer las diferencias entre los escenarios formulados, y comparar los resultados de los proyectos o planes que se tienen en cuenta en cada uno de los escenarios. Con estos indicadores y con un criterio de análisis definido puede hacerse una caracterización de los escenarios con mayor impacto para la gestión en el mediano plazo. En la Tabla 14 se presentan los indicadores desarrollados, todos a excepción de los indicadores 16, 17, 20 y 21 se consideran indicadores aptos para la referencia entre escenarios.

- Indicadores de análisis por escenario: Indicadores que permiten el análisis de la evolución periodo a periodo del escenario en el horizonte de planificación.

Con estos indicadores se puede hacer una caracterización de los cambios energéticos, económicos y ambientales obtenidas en el horizonte de

planificación para un escenario específico. Permite la valoración de la pertinencia de los escenarios.

El criterio *Dimensiones de análisis* se refiere al tipo de variable de análisis del indicador, si es una variable de la dimensión económica o ambiental o la combinación de éstas.

- Indicadores por Dimensión: se refiere a los indicadores que dan información sobre una sola de las dimensiones de análisis. Pueden ser:

Indicadores Tecnológicos

Indicadores Energéticos

Indicadores Económicos

Indicadores Ambientales

- Indicadores combinados: se refiere a los indicadores que dan información sobre al menos dos de las dimensiones básicas del esquema EAE en forma combinada. Pueden ser:

Indicadores Tecno - Económicos

Indicadores Tecno – Ambientales

Indicadores Tecno – Energéticos

Indicadores Económico – Ambientales

Indicadores Económico – Energéticos

Indicadores Ambientales – Energéticos

El criterio *Carácter espacial* se refiere a si el indicador se calcula para una zona geográfica de influencia en particular o si es agregado para la región metropolitana.

En general las aplicaciones realizadas para Industria y Transporte permiten obtener resultados y análisis a escalas geográficas muy detalladas. El cálculo sistemático de los indicadores para diferentes zonas geográficas, de diferentes niveles de agregación, ofrece la posibilidad de obtener una serie de resultados útiles en la gestión de proyectos particulares por zonas o para análisis específicos en un sector. En general los resultados pueden agregarse al nivel

deseado partiendo del modelo, pero el montaje sistemático de dicho análisis a través del sistema de indicadores, en diferentes zonas específicas para la gestión permitirá agilizar el trabajo de interpretación y aplicación.

Se proponen 24 zonas geográficas definidas a partir de 2 criterios: relevancia político administrativa y criticidad respecto a problemas de calidad del aire (ver Figura 4). El primer grupo se refiere básicamente a las divisiones municipales y se considera cada uno de los municipios más la división interna por zonas en el municipio de Medellín. El segundo grupo se refiere a las 7 zonas críticas por calidad del aire propuestas en el marco del proyecto POMCA [ 15].

Los indicadores geográficos equivalen entonces a la estimación de los indicadores para cada zona geográfica. También se formulan indicadores de índole exclusivamente geográfica. Pueden ser:

Indicadores Geográficos – Ambientales

Indicadores Geográficos – Económicos

Indicadores Geográficos – Tecnológicos

Indicadores Geográficos – Energéticos

### **1.2.2 ESQUEMA GENERAL EAE INDUSTRIA Y TRANSPORTE**

Se ha hecho énfasis en que el sistema de indicadores es una herramienta diseñada para el análisis específico de los modelos tipo EAE realizados. Así, se presentan los elementos determinantes de la estructura de los modelos como soporte a la formulación del sistema de ecuaciones de los indicadores.

El esquema de análisis EAE involucra tres dimensiones de análisis, Energía, Ambiente y Economía, para representar y analizar la gestión sobre los sectores energéticos a través de los impactos sobre las dimensiones mencionadas, en particular sobre la configuración tecno-energética, consumos de combustibles, emisiones de contaminantes a la atmósfera y costos del sistema.

El proyecto Marco de análisis se centra en el análisis de los sectores Industria y transporte de la Región Metropolitana, presentando en detalle y a través del sistema de referencia Energético, RES, la configuración general de dichos sistemas respecto a sus esquemas de demanda final y configuración tecno-energética y ambiental. La estructura de resultados se basa en un sistema de escenarios que representan la posible ocurrencia de eventos futuros de

acuerdo a proyectos o planes para la gestión tecnológica, energética o regulatoria.

Para cada línea de trabajo o sector, Industria y Transporte, se definen un RES particular y un conjunto de escenarios de análisis, los cuales definen en general el alcance de los indicadores (posibilidades de comparación entre escenarios, análisis por zona geográfica o análisis por tipo de variable, etc). Las Figura 2 y Figura 3 presentan respectivamente los RES del sector Transporte ([ 14], Libro 2) y el sector Industria ([ 14], Libro 1) y las Tabla 1 y Tabla 2 presentan los listados de escenarios de análisis para cada uno de los modelos Transporte e Industria.

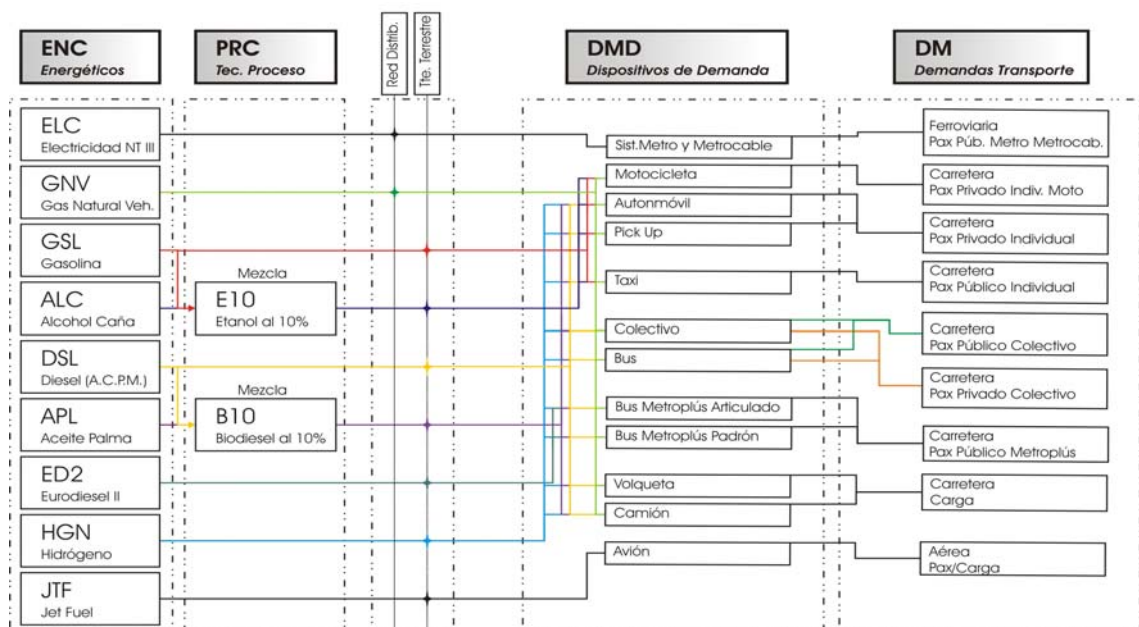
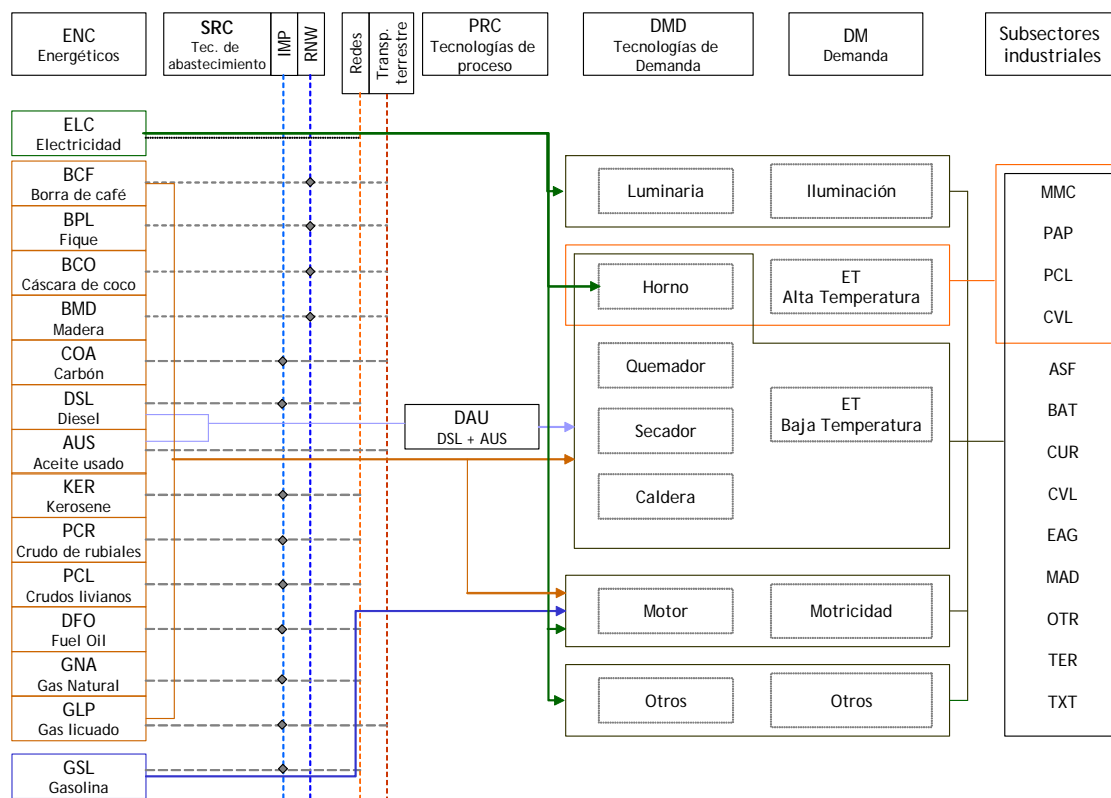


Figura 2. Sistema Energético de Referencia sector transporte 2006



**Figura 3. Sistema Energético de Referencia, sector industria 2006**

Para el sector transporte se formularon dos escenarios de configuración de la demanda final, *Propenso al sistema integrado* y *Averso al sistema integrado*, y para cada uno de ellos se modelaron restricciones tecnológicas, energéticas y ambientales que permitirán comparar de forma objetiva los impactos de dichas restricciones sobre cada uno de los escenarios generales de demanda. Las restricciones se presentan en la Tabla 1.

Se construye el modelo en 2 escenarios generales, para cada uno de los cuales se evalúan 10 restricciones. Esto equivale a un conjunto de 20 corridas cada una con atributos de escenario<sub>i</sub> – restricción<sub>j</sub>. Así, pueden considerarse 20 escenarios diferentes de evaluación del sector transporte, donde el sistema de indicadores estará guiado a la evaluación de cada uno de ellos y entre ellos.

**Tabla 1. Restricciones sobre los escenarios de demanda formulados para el modelo MARKAL-Tte AMVA**

Restricción	Descripción
1 <sup>er</sup> Conjunto de Restricciones	

<b>REM0</b>	No restringe el modelo a seleccionar una alternativa particular para la operación del nuevo sistema de transporte masivo de mediana capacidad – Metroplús –.
<b>REM1</b>	Supone la operación del nuevo sistema de transporte masivo de mediana capacidad – Metroplús – con vehículos GNV.
<b>REM2</b>	Supone la operación del nuevo sistema de transporte masivo de mediana capacidad – Metroplús – con vehículos DSL (A.C.P.M. local).
<b>REM3</b>	Supone la operación del nuevo sistema de transporte masivo de mediana capacidad – Metroplús – con vehículos ED2 importado desde el Golfo de México).
<b>REM4</b>	Supone la operación del nuevo sistema de transporte masivo de mediana capacidad – Metroplús – con una flota mixta de vehículos 50% DSL + 50% GNV.
<b>REM5</b>	Supone la operación del nuevo sistema de transporte masivo de mediana capacidad – Metroplús – con vehículos híbridos de motor eléctrico abastecido por DSL (A.C.P.M. local).
<b>2<sup>do</sup> Conjunto de Restricciones</b>	
<b>REG0</b>	Supone un desarrollo inercial en el horizonte de planificación en términos energéticos, teniendo en cuenta las series históricas de consumo de combustible. La restricción se impone suponiendo que el Sistema Metroplús opera con vehículos GNV.
<b>REG1</b>	Masificación del uso de GNV en el parque automotor del dominio de estudio: vehículos particulares, públicos y de carga. La restricción se impone suponiendo que el Sistema Metroplús opera con vehículos GNV.
<b>REG2</b>	Sustitución del consumo de GSL por gasolina oxigenada con alcohol carburante de caña (E10), a partir del año 2008. La restricción se impone suponiendo que el Sistema Metroplús opera con vehículos GNV.
<b>REG3</b>	Sustitución del consumo de DSL por biodiesel de aceite de palma (B10), a partir del año 2012. La restricción se impone suponiendo que el Sistema Metroplús opera con vehículos GNV.

Para el sector Industria se define un escenario general de configuración de la demanda y sobre este se evalúan 25 restricciones tecnológicas, energéticas y ambientales, con énfasis en el análisis de procesos de eficiencia tecnológica, penetración de gas natural y restricciones de imposición de techos de emisiones. Las restricciones se presentan en la Tabla 2. Puede considerarse 25 escenarios de evaluación del sector industria donde el sistema de indicadores estará guiado a la evaluación de cada uno de ellos y entre ellos

**Tabla 2. Restricciones de análisis formuladas para el modelo MARKAL-Industria 2006**

<b>Grupo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
G1	E0	Sin restricciones
	E_Base	Restricciones BASE
G2	E2_EF_AT	Mejora de eficiencia de DMD (Hornos) que atienden DM Alta Temperatura. 7 a 12%. Restricciones BASE
	E2_EF_BT	Mejora de eficiencia de DMD que atienden DM Baja Temperatura. 10 a 15%. Restricciones BASE
	E2_EF_M	Mejora de eficiencia de DMD que atienden DM Motricidad 5%. Restricciones BASE
	E2_EF_O	Mejora de eficiencia de DMD que atienden DM Otros 2%.

Grupo	Nombre	Descripción
		Restricciones BASE
	E2_EFF	Mejora de eficiencia todos los DMD. Restricciones BASE
G3	E3_DM5	MyT. Reducción de la DM útil 5%. Eff Base. Restricciones Base
	E3_DM10	MyT. Reducción de la DM útil 10%. Eff Base. Restricciones Base
	E4_AT	Penetración de GNA en DMD para DM ET Alta Temp. Restricciones Base
G4	E4_BT	Penetración de GNA en DMD para DM ET Baja Temp. Restricciones Base
	E4_M	Sustitución DMD-Motores por Motores de Alta eficiencia. Restricciones Base
	E4_DM	Penetración de GNA en DMD para AT, BT y M. Restricciones Base
	E4_0_GN	Penetración de GNA en DMD para AT, BT y M. Restricciones E0
	G5_B05	Techos de emisión globales de CO2. Reducción CO2 5%. Restricciones BASE
	G5_B10	Techos de emisión globales de CO2. Reducción CO2 10%. Restricciones BASE
	G5_B15	Techos de emisión globales de CO2. Reducción CO2 15%. Restricciones BASE
	G5_B20	Techos de emisión globales de CO2. Reducción CO2 20%. Restricciones BASE
	G5_BMP05	Techos de emisión globales de MP. Reducción MP 5%. Restricciones BASE
G5	G5_BMP10	Techos de emisión globales de MP. Reducción MP 10%. Restricciones BASE
	G5_BMP15	Techos de emisión globales de MP. Reducción MP 15%. Restricciones BASE
	G5_BMP20	Techos de emisión globales de MP. Reducción MP 20%. Restricciones BASE
	G5_BMP50	Techos de emisión globales de MP. Reducción MP 50%. Restricciones BASE
	G5_BMP60	Techos de emisión globales de MP. Reducción MP 60%. Restricciones BASE
	G5_BMP70	Techos de emisión globales de MP. Reducción MP 70%. Restricciones BASE

Es claro que no todas las comparaciones entre escenarios aportan información significativa y por ello el diseño de los indicadores incluye la selección de cuales escenarios son susceptibles de compararse entre sí. Para el sector transporte por ejemplo, la restricción REM1 supone la operación del sistema Metroplús con vehículos de GNV y la restricción REG1 supone la masificación del uso del GNV en el resto del sector transporte del AMVA (ver Tabla 1). Dichos escenarios proponen cambios en sectores diferentes del sistema modelado y sus resultados podrían considerarse como complementarios. En otro caso, las restricciones REM1 (Metroplús operado con GNV) y REM2 (Metroplús operado con ACPM), representan escenarios que representan dos opciones diferentes para un mismo evento y por tanto la comparación entre ellos si dará información de las ventajas o desventajas de cada escenario.

## 2. IMPLEMENTACIÓN

En el capítulo anterior se establecieron las características importantes que deben tener los indicadores para el análisis de los resultados de los modelos del proyecto marco. Ahora, en esta sección, se presenta toda la formulación de los indicadores en base a dichas características y según los alcances propuestos para gestión.

Un indicador se refiere a un resultado proveniente del cálculo de una variable de interés, así, puede formularse una ecuación compuesta por variables y parámetros y expresada por una ecuación lineal. La formulación matemática define entonces la programación e implementación del sistema.

### Conceptos básicos

Un sistema de ecuaciones lineales está compuesto por variables, parámetros, índices y conjuntos. Las variables representan las decisiones que se obtienen como resultado del proceso de cálculo. Los parámetros indican los valores de entrada de las ecuaciones, los índices representan las entidades para las cuales se establecen las ecuaciones y los conjuntos representan los entornos de validez de las ecuaciones y se determinan para los índices.

Para el caso de los modelos EAE los indicadores son estimaciones derivadas de los resultados. En las Tabla 3 a Tabla 13 se presentan los elementos *variables, parámetros, índices y conjuntos* para la formulación de los indicadores.

**Tabla 3. Índices**

índice	Entidad asociada	Descripción
s	Escenario	Cada uno de los escenarios de modelación. 20 escenarios para transporte y 25 escenarios para industria. 45 Totales.
e	Energético	Cada uno de los combustibles o energéticos que componen las canastas energéticas de evaluación. 7 energéticos de Transporte, 14 energéticos Industriales. 21 totales.
k	Demanda final	Demandas finales modeladas para cada sector. 9 demandas de Transporte, 4 demandas Industriales. 13 totales.
l	Subsector Industrial	Subsectores en los cuales se divide el sector industria en el AMVA, 13 en total
d	Tecnología	Cada uno de los dispositivos tecnológicos de demanda final. 5 tecnologías de Transporte (tipos de vehículos), 12 tecnologías Industriales (calderas, hornos, otros). 17 totales



índice	Entidad asociada	Descripción
p	Contaminante	Cada uno de los contaminantes modelados. 6 contaminantes asociados al sector industria, 5 asociados al transporte. 11 totales
j	Zona	Cada una de las zonas geográficas definidas para análisis de indicadores geográficos. 34 según la tabla 8
t	Periodo	2002 a 2020 cada 2 años, 10 años en total

**Tabla 4. Listado de escenarios por modelo. Subíndice s**

Escenarios	Sector (Modelo)	Subíndice s
ESC1 REM0	TRN	1
ESC1 REM1	TRN	2
ESC1 REM2	TRN	3
ESC1 REM3	TRN	4
ESC1 REM4	TRN	5
ESC1 REM5	TRN	6
ESC2 REM0	TRN	7
ESC2 REM1	TRN	8
ESC2 REM2	TRN	9
ESC2 REM3	TRN	10
ESC2 REM4	TRN	11
ESC2 REM5	TRN	12
ESC1 REG0	TRN	13
ESC1 REG1	TRN	14
ESC1 REG2	TRN	15
ESC1 REG3	TRN	16
ESC2 REG0	TRN	17
ESC2 REG1	TRN	18
ESC2 REG2	TRN	20
ESC2 REG3	TRN	20
BASE	IND-UERE	21
Eff_AT	IND-UERE	22
Eff_BT	IND-UERE	23
Eff_M	IND-UERE	24
DM_AT	IND-UERE	25
DM_BT	IND-UERE	26
DM_M	IND-UERE	27
Eff_DMD	IND-UERE	28
DM_DMD	IND-UERE	29
MYT	IND-UERE	30
G1_CO	IND-AMVA06	31
G1_Base	IND-AMVA06	32
G2_Eff_AT	IND-AMVA06	33
G2_Eff_BT	IND-AMVA06	34
G2_Eff_M	IND-AMVA06	35
G2_Eff_O	IND-AMVA06	36
G2_Eff_DMD	IND-AMVA06	37
G3_MYT5	IND-AMVA06	38
G3_MYT10	IND-AMVA06	39
G4_GN_AT	IND-AMVA06	40
G4_GN_BT	IND-AMVA06	41
G4_DMD_MporN	IND-AMVA06	42

<b>Escenarios</b>	<b>Sector (Modelo)</b>	<b>Subíndice s</b>
G4_GN_0	IND-AMVA06	43
G5_ENV_MAXEM MP	IND-AMVA06	44
G5_ENV_MAXEM CO2	IND-AMVA06	45

**Tabla 5. Listado de Energéticos. Subíndice e**

<b>Código</b>	<b>Energéticos</b>	<b>Sector</b>	<b>Subíndice e</b>
ELC	Electricidad	TRN e IND	1
GSL	Gasolina	TRN e IND	2
DSL	Diesel	TRN e IND	3
GNV	Gas Natural Vehicular	TRN	4
E10	Etanol mezcla al 10%	TRN	5
B10	Biodiesel mezcla al 10%	TRN	6
ED2	Eurodiesel 2	TRN	7
AUS	Aceite Usado	IND	8
BCF	Borra de café	IND	9
COA	Carbón	IND	10
DFO	Fuel oil	IND	11
GLP	Gas Licuado de Petróleo	IND	12
GNA	Gas Natural	IND	13
PCL	Crudo Liviano	IND	14
BMD	Madera	IND	15
BCO	Cáscara de coco	IND	16
DAU	DSL + AUS	IND	17
PCR	Crudo Rubiales	IND	18
BPL	Pulpa (Fique)	IND	20
KER	Kerosene	IND	20

**Tabla 6. Listado de dispositivos de demanda. Subíndice d**

<b>Dispositivos Transporte</b>	<b>Sector</b>	<b>Subíndice d</b>
Autos y pick-ups	TRN	1
Taxis	TRN	2
Buses y Colectivos	TRN	3
Volquetas y Camiones	TRN	4
Motos	TRN	5
Caldera	IND	6
Horno	IND	7
Luminarias eficientes	IND	8
Luminarias tradicionales	IND	9
Molino	IND	10
Motor Alta Eficiencia	IND	11
Motor Tradicional	IND	12
Otros	IND	13

<b>Dispositivos Transporte</b>	<b>Sector</b>	<b>Subíndice d</b>
Quemador	IND	14
Refrigerador industrial	IND	15
Secador	IND	16
Torre	IND	17
Otros	IND	18

**Tabla 7. Listado de demandas finales consideradas. Subíndice k**

<b>Demanda</b>	<b>Sector</b>	<b>Subíndice k</b>
Tte. Aéreo de Pasajeros	TRN	1
Tte. Ferroviario Pasajeros Público Colectivo	TRN	2
Tte. Carretero Carga	TRN	3
Tte. Carretero Pasajeros Privado Colectivo	TRN	4
Tte. Carretero Pasajeros Público Colectivo	TRN	5
Tte. Carretero Pasajeros Privado Individual Moto	TRN	6
Tte. Carretero Pasajeros Privado Individual	TRN	7
Tte. Carretero Pasajeros Público Individual	TRN	8
Tte. Carretero Pasajeros Público Colectivo Metroplús	TRN	9
Energía Térmica Alta Temperatura	IND	10
Energía Térmica Baja Temperatura	IND	11
Motricidad	IND	12
Molienda	IND	13
Otros	IND	14
Iluminación	IND	15
Refrigeración	IND	16

**Tabla 8. Listado de subsectores industriales. Subíndice l**

<b>Subsector</b>	<b>Abrev. Subsector</b>	<b>Subíndice l</b>
Asfaltos, Derivados del Petróleo	ASF	1
Bebidas, Alimentos, Tabaco	BAT	2
Curtimbres	CUR	3
Cerámicos y Vítreos	CVL	4
Extracción, agregados	EAG	5
Maderero	MAD	6
Metalmecánico	MMC	7
Otras Industrias	OTR	8
Papel, Cartón, Pulpa, Impresión	PAP	9
Plásticos, Cauchos	PCE	10
Químico	QMC	11
Terciario	TER	12
Textil, Confección	TXT	13

**Tabla 9. Listado de contaminantes modelados. Subíndice p**

Contaminante	Sector	Subíndice p
CO	TRN, IND	1
CO2	TRN, IND	2
SO2	IND	3
MP	TRN, IND	4
NOX	TRN, IND	5
COV	TRN, IND	6

**Tabla 10. Listado de años modelados sector Transporte. Subíndice t**

Año	Condición	Subíndice t
2002	Año calibrado	1
2004	Año calibrado	2
2006	Año proyectado	3
2008	Año proyectado	4
2010	Año proyectado	5
2012	Año proyectado	6
2014	Año proyectado	7
2016	Año proyectado	8
2018	Año proyectado	9
2020	Año proyectado	10

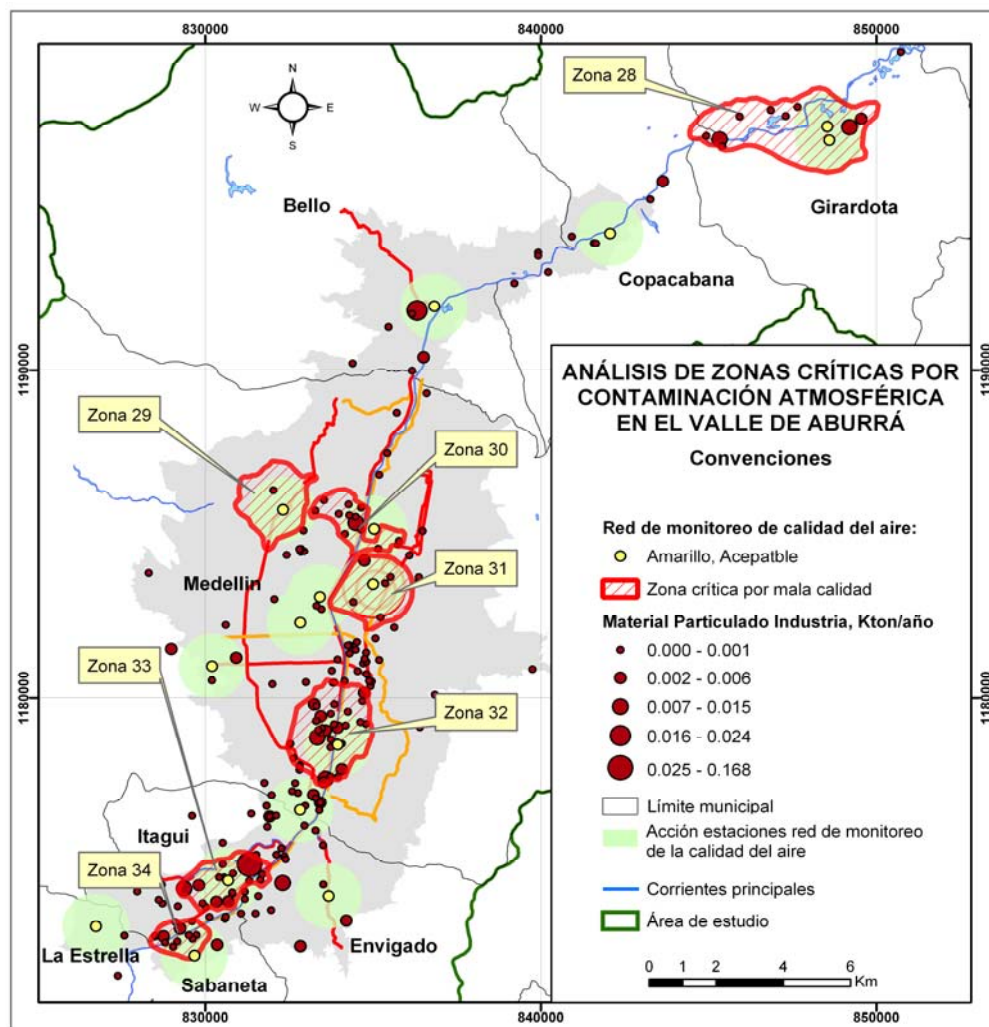
**Tabla 11. Listado de años modelados sector Industria. Subíndice t**

Año	Condición	Subíndice t
2004	Año calibrado	1
2006	Año calibrado	2
2008	Año proyectado	3
2010	Año proyectado	4
2012	Año proyectado	5
2014	Año proyectado	6
2016	Año proyectado	7
2018	Año proyectado	8
2020	Año proyectado	9
2022	Año proyectado	10

**Tabla 12. Listado de zonas geográficas. Subíndice j**

Zona	Subíndice j
Área Metropolitana del Valle de Aburrá	1
Barbosa	2
Copacabana	3
Girardota	4

<b>Zona</b>	<b>Subíndice j</b>
Bello	5
Medellín	6
Itagüí	7
Envigado	8
Sabaneta	9
Caldas	10
La Estrella	11
Comuna 1(Popular)	12
Comuna 2(Santa Cruz)	13
Comuna 3(Manrique)	14
Comuna 4(Aranjuez)	15
Comuna 5(Castilla)	16
Comuna 6(Doce de Octubre)	17
Comuna 7(Robledo)	18
Comuna 8(Villa Hermosa)	20
Comuna 9(Buenos Aires)	20
Comuna 10(La Candelaria)	21
Comuna 11(Laureles – Estadio)	22
Comuna 12(La América)	23
Comuna 13(San Javier)	24
Comuna 14(El Poblado)	25
Comuna 15(Guayabal)	26
Comuna 16(Belén)	27
<b>Zonas críticas propuesta POMCA</b>	
Norte del AMVA entre Cop. y Gir.	28
Centro Occidente de Medellín	29
Sector Unal - UdeA	30
Zona centro de Medellín	31
Zona sur de Medellín	32
Zona Industrial de Itagüí	33
Zona Industrial Sabaneta – La Estrella	34



**Figura 4. Zonas críticas por calidad del aire, definidas en el proyecto POMCA. Fuente para la definición de zonas para indicadores geográficos. Subíndice j**

**Tabla 13. Listado de variables.**

Variable	Nombre	Descripción	Fuente
VEH	Vehículos	# de vehículos por tipo, que conforman el parque automotor para cada escenario	Modelo EAE
CON	Consumo	Consumo energético por tipo de combustibles	Modelo EAE
EMI	Emisión	Emisiones de contaminantes en toneladas.	Modelo EAE
COS	Costos	Costos totales del sistema para la satisfacción de las demandas finales.	Modelo EAE
CIN	Costos Inversión	Costos asociados a la inversión en nuevas tecnologías.	Modelo EAE
COM	Costos O&M	Costos asociados a la inversión en nuevas tecnologías.	Modelo EAE
CEN	Costos Energéticos	Costos asociados a la inversión en	Modelo EAE

Variable	Nombre	Descripción	Fuente
		Combustibles.	
TIN	Tecnologías Industriales	Inversión en dispositivos de demanda industriales	Modelo EAE
IND	Industrias	Número de Industrias.	Modelo EAE
POB	Población	Número estimado de habitantes	Información secundaria

## Listado de Indicadores

En la Tabla 14 se presenta el listado de indicadores propuestos con su descripción y fórmula matemática general. Para guiar la lectura de esta tabla se presenta como ejemplo el Indicador 5:

**Indicador 5: Porcentaje de Vehículos por Energético:** Porcentaje con respecto al total, de vehículos operados por combustible.

Resultados esperados: Para cada escenario se obtendrá el dato de cuál es el porcentaje con respecto al total, de vehículos que operan con diesel, gasolina y gnv, para cada año de análisis. Como resultado puede mostrar la vocación o tendencia energética del parque automotor en el tiempo bajo el escenario.

*Formula:*  $VEHes / VEHs$ . Indica el número de vehículos por energético y por escenario sobre el total de los vehículos por escenario.

**Tabla 14. Formulación de indicadores**

No.	Nombre	Descripción	Formula
I 1	Número de Vehículos en el Escenario	Número total de vehículos resultado de la modelación para cada uno de los escenarios. Estima el número de vehículos necesarios para satisfacer la demanda de movilidad.	VEHs
I 2	Número de vehículos en el escenario según el tipo de energético	Número de vehículos resultado de la modelación en cada uno de los escenarios según el tipo de energético que emplean, numero de vehículos de Diesel, o de Gasolina, etc.	VEHes
I 3	Número de vehículos en el escenario según el tipo de dispositivo	Número de vehículos según el dispositivo resultado de la modelación para cada uno de los escenarios. p.e numero de Buses y Colectivos, Motos, Taxis.	VEHds
I 4	Número de vehículos en el escenario según el dispositivo y el energético	Número de vehículos según el dispositivo y energético resultado de la modelación para cada uno de los escenarios. p.e. numero de Buses y Colectivos operados con diesel, Motos operadas con gasolina, Taxis operados con	VEHdes

No.	Nombre	Descripción	Formula
		gas, etc.	
I 5	% de Vehículos por Energético	Porcentaje con respecto al total de vehículos operados con cada energético. p.e. para cada escenario permite conocer por ejemplo cual es el porcentaje de los vehículos modelados operados con diesel, con gasolina, con etanol, etc.	VEHes / VEHs x100
I 6	% de Industrias por Energético	Porcentaje con respecto al total de industrias que utilizan un energético en particular, permite conocer por ejemplo el porcentaje de industrias que usan carbón para sus procesos productivos.	INDes / INDs
I 7	% del consumo de cada Energético	Porcentaje del consumo de cualquier energético con respecto al consumo total de combustibles en un escenario, permite conocer la distribución porcentual del consumo de combustibles.	CONes / CONs
I 8	Costos del sistema por habitante	Costo de todo el sistema en cada escenario sobre la población del AMVA. Permite evaluar el impacto económico en la región de la puesta en marcha de los escenarios de modelación propuestos.	COSs / POBj
I 9	Costos de energéticos por habitante	Costo de inversión en combustibles por habitante. Permite evaluar el impacto económico en la región de la inversión en combustibles para la satisfacción de las demandas finales, ya sean de industria o de transporte.	CENes / POBj
I 10	Costos de Tecnologías por habitante	Costo de inversión en nuevas tecnologías por habitante. Permite evaluar el impacto económico en la región de la inversión nuevas tecnologías para la satisfacción de las demandas finales, ya sean de industria o de transporte.	CINs / POBj
I 11	Emisión de Contaminantes por habitante en el AMVA	Toneladas totales de emisión de contaminantes en el AMVA por habitante. Permite hacer una evaluación del impacto ambiental para cada uno de los sectores modelados.	EMIps / POBj
I 12	% de emisiones por dispositivo de demanda	Porcentaje de las emisiones totales asociadas a un dispositivo de demanda. Permite evaluar la distribución de emisiones según cada uno de los dispositivos, y de esta manera hacer una caracterización de las demandas que tienen un mayor impacto en la producción de contaminantes.	EMIkps / EMIs
I 13	% de emisiones por Energético	Porcentaje de las emisiones totales asociadas a un energético. Permite hacer una caracterización de las emisiones según el energético empleado, y de esta manera conocer cuales son los responsables de una mayor emisión.	EMIeps / EMIps
I 14	% De los costos asociados a la inversión en nuevas tecnologías	Porcentaje del costo total del sistema en el escenario, asociado a la inversión en tecnologías. Permite hacer una evaluación de la distribución de los costos para satisfacer las demandas finales.	CINs / COSs x 100
I 15	% De los costos	Porcentaje del costo total del sistema en el	COMs / COSs x 100



No.	Nombre	Descripción	Formula
	asociados a la operación y mantenimiento	escenario asociado a la operación y mantenimiento de tecnologías. Permite hacer una evaluación de la distribución de los costos para satisfacer las demandas finales.	
I 16	% De los costos asociados a Energéticos	Porcentaje del costo total del sistema en el escenario asociado al la inversión en energéticos. Permite hacer una evaluación de la distribución de los costos para satisfacer las demandas finales.	$CENs / COSs \times 100$
I 17	Costos de Tecnología vs Emisiones a la Atmósfera	Costo de Tecnologías en el escenario vs Total en toneladas de emisiones. Permite hacer una caracterización de tecnologías a partir de su impacto económico y ambiental.	CINde vs EMlps
I 18	Emisión de contaminante por habitante en la zona j	Emisiones totales de un contaminante en la zona j por habitante en la zona j. Permite hacer evaluaciones de producción de contaminantes en zonas específicas del AMVA.	$EMlpjs / POBj$
I 19	% de Emisiones de contaminantes de la zona j	Porcentaje del total de emisiones de contaminantes que representa la zona j. Permite hacer una evaluación de la situación ambiental de la zona con respecto al resto del AMVA.	$EMlpjs / EMlps$
I 20	% Cambio de los Costos del sistema en el horizonte de planificación	Porcentaje de cambio de los costos del sistema año a año (variación con respecto al año anterior, p.e: cambio de costos del 2006 al 2008) dentro de un mismo escenario de modelación. Indicador que permite ver la variación de los costos a medida que avanza el horizonte de planificación.	$(COSs)^{t+1} / (COSs)^t - 1 \times 100$
I 21	% Cambio de emisiones en el horizonte de planificación	Porcentaje de cambio de las emisiones del sistema año a año (variación con respecto al año anterior, p.e: cambio de emisiones del 2006 al 2008) dentro de un mismo escenario de modelación. Indicador que permite ver la variación de la producción de contaminantes a medida que avanza el horizonte de planificación.	$((EMlps)^{t+1} / (EMlps)^t) - 1 \times 100$
I 22	% de Vehículos por tipo y Energético	Porcentaje de vehículos por tipo, con respecto al total de vehículos, operados con cada energético. P.e. para cada escenario: porcentaje de los vehículos por tipo (buses, taxis, etc) modelados operados con diesel, con gasolina, con etanol, etc.	$VEHdes / VEHds \times 100$
I 23	Comparación del parque automotor entre escenarios	Número de vehículos obtenidos de la modelación de un escenario comparado con otro escenario.	VEHs vs VEHs+i
I 24	% Cambio del parque automotor en el horizonte de planificación	Porcentaje de cambio del parque automotor año a año dentro de un mismo escenario de modelación. Indicador que permite ver la variación de la inversión en vehículos para la satisfacción de la demanda.	$((VEHs)^{t+1} / (VEHs)^t) - 1 \times 100$
I 25	% Cambio del consumo de un energético en un escenario para el horizonte de planificación	Porcentaje de cambio en el consumo año a año de un mismo energético para un escenario de planificación a través de los 10 periodos. Se puede conocer el aumento o la disminución del consumo de DSL, GSL, etc.	$((CONes)^{t+1} / (CONes)^t) - 1 \times 100$

No.	Nombre	Descripción	Formula
I 26	Inversión por dispositivo	Inversión que hace el modelo en cada uno de los escenario en los diferentes dispositivos para satisfacer la demanda.	CINds vs CINds+i
I 27	% de Vehículos por tipo	Porcentaje de vehículos según el tipo con respecto al total de los vehículos resultado de la modelación. p.e. para cada escenario permite conocer el porcentaje de los vehículos totales representado por los buses, taxis, etc.	VEHdes / VEHds x100
I 28	Consumo Energético por Subsector industrial en cada escenario	Consumo agregado de las industrias modeladas pertenecientes a un mismo subsector industrial. Se puede conocer el consumo agregado de todos los energéticos de cada uno de los subsectores industriales.	CONIs
I 29	% Del consumo Energético por Subsector industrial por escenario	Distribución porcentual del consumo energético total industrial para cada uno de los subsectores industriales. p.e. que porcentaje representa el sector textil dentro del consumo energético global.	CONIs / CONs x 100
I 30	% Del consumo total por dispositivo de demanda	Porcentaje que representan del consumo energético industrial el consumo de cada uno de los dispositivos que se modelan. p.e. permite estimar el porcentaje de consumo que representan las calderas.	CONds / CONs x 100
I 31	% Del consumo total industrial por demanda	Porcentaje del consumo total industrial representado por las cuatro demandas industriales modeladas. P.e. permite conocer el porcentaje de consumo en Alta Temperatura	CONks / CONs x 100
I 32	% de Dispositivos industriales por tipo y Energético en cada escenario	Porcentaje de inversión por tipo de dispositivo y energético. Permite conocer en un escenario en particular el % de inversión en hornos eficientes de gas natural	TINdes / TINs x 100
I 33	% De emisiones por subsector Industrial	Porcentaje del total de emisiones industriales asociado a cada uno de los subsectores industriales. p.e. de las emisiones totales, porcentaje asociado al subsector metalmecánico.	EMIps / EMIps x 100
I 34	Subsectores industriales por zona geográfica	Permite conocer el número de industrias pertenecientes a un mismo subsector industrial en cada una de las zonas geográficas.	INDIj
I 35	% De emisiones por zona geográfica y por subsector industrial	Porcentaje de emisiones asociado a los diferentes subsectores industriales en cada zona geográfica. p.e. Permite conocer cuál es el porcentaje de emisiones industriales en Itagüí asociado al subsector Químico.	EMIpsj / EMIpsj x 100
I 36	% De inversión en dispositivos industriales por subsector	Inversión de los diferentes subsectores industriales en nuevos dispositivos de demanda. Se puede conocer cuál de los sectores es el que necesita invertir más en motores, calderas, etc.	TINlds / TINds x 100
I 37	Consumo energéticos por Zona geográfica	Consumo de energéticos en los diferentes municipios del Área Metropolitana. p.e. es posible conocer cuál es el consumo de diesel del sector industrial en el municipio de Medellín	CONjs
I 38	% Del consumo energético por	Porcentaje de consumo de energéticos con respecto al total del sistema en cada una de	CONjs/CONs x 100

No.	Nombre	Descripción	Formula
	zona geográfica	las zonas geográficas.	

### Comentarios

El diseño y análisis de indicadores para el seguimiento y análisis de resultados es de más fácil implementación en el sector Industria, dado que la configuración espacial del sector es más estable y consecuentemente se puede seguir con mayor confiabilidad, el desempeño en el tiempo de indicadores por zona geográfica o de indicadores de consumo o alternativas tecnológicas.

El sector transporte propone mayor nivel de dificultad dado que la distribución espacial y temporal de la movilidad es variable y su estimación tiene asociado un nivel de incertidumbre dado por la metodología de cálculo y los datos fuente; adicionalmente el sector presenta una dinámica más activa que cualquier otro sector. Lo anterior indica que la confiabilidad de los resultados de los indicadores está asociada al nivel de incertidumbre de la información y del modelo. Por ejemplo si el sistema de movilidad real cambia significativamente respecto a los escenarios planteados en el modelo los indicadores perderán validez respecto a la gestión real. No obstante lo anterior, es posible establecer indicadores para el análisis de los escenarios específicos modelados, especialmente respecto a la configuración del parque automotor y otros relacionados con la configuración tecno-energética resultante de dichos escenarios.

### **3. SISTEMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES**

Como se pudo observar del capítulo anterior, la implementación de un sistema de indicadores necesita la manipulación y procesamiento de mucha información, lo cual obliga al uso de herramientas informáticas que faciliten la creación de los indicadores y la consulta de los mismos.

Para la implementación y visualización del sistema de indicadores como herramienta de análisis, fue necesario integrarlo a la plataforma de trabajo EAE la cual se compone de una base de datos central, BD EAE, un sistema de información geográfica, SIG EAE, y un aplicativo web. Esta plataforma se ha ido desarrollando durante la ejecución de los proyectos de referencia, y se ha ido actualizando y mejorando en base a las necesidades de los mismos. Para el desarrollo del proyecto marco se adecuo la plataforma para brindarle soporte al sistema de indicadores implementado.

El sistema de indicadores se basa en la obtención de resultados obtenidos a través de una serie de pasos y cálculos sistemáticos sobre los datos almacenados en la base de datos general de la plataforma. Estos pasos implican un costo computacional adicional a las consultas de la base de datos que puede variar dependiendo de la velocidad de la conexión. Para aumentar la eficiencia en la consulta de indicadores y en virtud a que los datos almacenados en la base de datos son estáticos, se generaron tablas especialmente para almacenar los resultados de los indicadores después de su generación. Esto significa que la generación de resultados de indicadores se realiza solamente las veces que el analista considere necesario según el cambio en los datos fuente y luego las consultas se generan sobre las tablas necesarias.

Los procedimientos de generación de indicadores se elaboraron y corrieron mediante un aplicativo desarrollado en el ambiente de trabajo Visual Studio 2005 bajo el lenguaje programación C-Sharp. Este aplicativo establece la conexión a la BD-EAE para la consulta de los resultados de los modelos del proyecto marco, luego hace las operaciones y cálculos pertinentes para crear cada indicador, y por último, realiza la escritura de los resultados de los indicadores en la BD-EAE. El aplicativo utiliza una serie de procedimientos que recorren todos los posibles datos y genera todos los posibles resultados a partir

de una clase con varios métodos, tantos como tipos de indicadores se diseñaron.

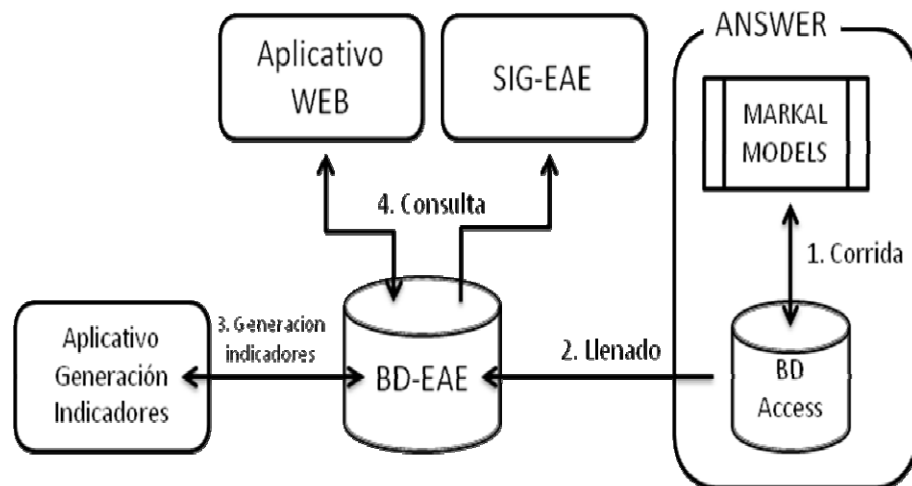
Una vez guardados los indicadores en la BD-EAE, es posible la visualización de estos por medio de los aplicativos de consulta WEB y SIG-EAE, los cuales cada uno brinda una visión diferente para el análisis de los mismos.

### **3.1 ESTRUCTURA GENERAL DE LA PLATAFORMA**

En esta sección se describe de manera general la secuencia y comunicación entre las partes de la plataforma EAE, y las tres secciones siguientes describen de manera más detallada los aplicativos que componen la plataforma

Para que la plataforma se mantenga estable y consistente, es necesario que se lleven a cabo una serie de pasos en un orden establecido. A continuación se describe esta secuencia de pasos y se presenta la Figura 5 como esquematización de la plataforma en general.

1. Montaje y corrida de los modelos Markal® y su interfase de trabajo Answer®, Este software constituye un componente externo a la plataforma al tener restricciones de licenciamiento. La información de los modelos es almacenada en una base de datos en Access.
2. Creación y llenado de la base de datos BD-EAE, a partir de los resultados obtenidos en ASWER. Este proceso requiere la utilización de ingeniería inversa para la consulta de la BD en Access y el acoplamiento con la estructura de tablas en la BD-EAE.
3. Generación de indicadores, una vez almacenados los resultados de los modelos en la BD-EAE, se corren los procedimientos para la creación de indicadores.
4. Consulta de la información relacionada a los modelos EAE. El aplicativo web y el SIG EAE consultan la BD-EAE para el despliegue y análisis de los resultados e indicadores.



**Figura 5. Esquematización de la plataforma de trabajo EAE.**

**Observación:** La ejecución de los tres primeros pasos solo son necesarios cuando se generan nuevos modelos EAE o cuando se desee actualizar los resultados de los modelos ya almacenados anteriormente. En todo momento se puede utilizar los aplicativos de consulta web y SIG para el análisis de los resultados e indicadores de los proyectos marco de referencia.

### 3.2 BASE DE DATOS

La base de datos BD EAE, está implementada sobre Oracle 10g con análisis de las entidades y restricciones (tanto triggers como procedimientos) que sean compatibles con Oracle 9i y Oracle 8i. Esta base de datos es una aplicación diseñada para albergar cuatro diferentes tipos de información:

- Información general base
- Datos y parámetros procesados para el modelamiento Markal
- Resultados del modelamiento
- Datos y resultados de procedimientos diseñados para la generación de indicadores de los resultados del modelamiento

Para ello fue necesario el análisis detallado de cada uno de los tipos de información mencionados

Dentro del primer grupo se incluyen los datos de orden secundario o primario requeridos para el proyecto, entre ellos, Inventario de BLAs, Inventario de industrias, Información del parque automotor, información técnico-energética de los diferentes dispositivos, descripción de fuentes de consulta, etc. Todos ellos con atributos de fecha de actualización o levantamiento.

En el segundo grupo se incluyen la información asociada a las variables del modelo, lo cual exige un análisis detallado del esquema de optimización y relación entre variables en el modelo, el cual dará la información de flujos y atributos requerido para el análisis de la información en el contexto EAE.

El tercer grupo, los resultados, exige la construcción de un tercer módulo del modelo de datos, puesto que los resultados en general se asocian a variables (de entrada) combinadas. Por otro lado la estructura debe incluir el juego de varios modelos y varios escenarios por modelo y por ello la base de datos se construye con capacidad de manejar un volumen muy grande de datos.

El cuarto grupo combina información de los 3 grupos anteriores en cuanto los indicadores exigieron la integración de información base nueva y, utiliza la información aportada por los datos y resultados del modelo. Exigió la construcción de un módulo adicional del modelo de datos para almacenar los resultados de los indicadores.

El modelo de datos mantiene consistencia con la estructura de los modelos tipo EAE, especialmente con la estructura del modelo Markal. El análisis de los cuatro tipos de información (presentados anteriormente) de los proyectos realizados permitió establecer las entidades requeridas de una manera lógica, tal que se evitaran al máximo la repetición de registros o datos y cuidando la integridad y escalamiento de los mismos dentro del modelo.

Estas entidades son capaces de distinguir y soportar el juego de varios modelos por proyecto y varios escenarios por modelo, albergando así una gran cantidad de información. Debido a esto y al alto coste en tiempo de ejecución de las consultas que esto implicaría, estas tablas se diseñaron de manera que se pueda rebajar la carga de información en ellas y optimizar el rendimiento de la base de datos, transformando datos complejos a un conjunto de estructuras de datos más pequeñas, que además de ser más simples y más estables, son más fáciles de mantener.

Para una descripción más detallada se remite al lector a la referencia [ 14] Libro 4.

### **3.3 APLICATIVO WEB**

Este aplicativo de consulta se desarrolló en PHP5 (Hypertext Preprocessor), con compatibilidad con PHP4, de licencia libre, el cual ofrece interfaces y funcionalidades parecidas a Answer.

A este aplicativo se le adiciono un modulo para el despliegue de indicadores, con el fin de que los decisores puedan ingresar y ver por medio de interfaces amigables tanto la información y resultados de los proyectos EAE, como los indicadores formulados para el análisis de dichos resultados. Para una descripción más detallada se remite al lector a la referencia [ 14] Libro 4

La Figura 6 y Figura 7, presentan una imagen de la interfaz del aplicativo web como herramienta de consulta para la visualización de resultados e indicadores.







**Área  
METROPOLITANA**  
del Valle de Aburrá

INICIO

**BASE DE DATOS**

**ADMINISTRADOR DE DATOS Y RESULTADOS DE APLICACIONES**

Energía – Ambiente – Economía para la Región Metropolitana  
Grupo de Modelamiento y Análisis  
Energía Ambiente Economía – Unalmed

Ultima Actualización **Abril 2008**

► EAE

► Créditos

► Información Grupo de Investigación

► Información Proyectos

▼ Indicadores Generales

Escenarios

► Comparación entre Escenarios

► Especiales

► Admón Usuarios

► Mi cuenta

**ANÁLISIS DE INDICADORES** [\[Atrás\]](#)

Seleccione el Proyecto:	LINEA BASE ITAGUI	Ayuda
Seleccione el Modelo:	Itagui Industria	Ayuda
Seleccione el Escenario:	BASE	Ayuda
Seleccione el Tipo de Indicador:	ambiental	Ayuda
Seleccione el(os) Indicador(es): <span style="float: right;">Ayuda</span>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Porcentaje de cambio de emisiones en el horizonte de planificación</p> <p>Porcentaje de emisiones por dispositivo de demanda</p> <p>Porcentaje de emisiones por energético</p> <p>Emisiones a la atmósfera de una tecnología por energético</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>&gt;&gt;</p> <p>&lt;&lt;</p> </div> </div>		
Seleccione el DMD:	Todos	Ayuda
Seleccione la Zona:	Todos	Ayuda
Seleccione el Energético:	Todos	Ayuda
Seleccione el DM:	Todos	Ayuda
Seleccione el SubSector:	Todos	Ayuda
Seleccione la Emisión:	Todos	Ayuda
<input type="button" value="Analizar"/>		

Calle 41 No. 53 07 • Conmutador (574) 385 60 00 • Fax: (574) 262 3201 • A. A.141 •

Atención al Usuario (574) 385 60 00 Exts. 104 - 135 -138

Medellín-Colombia-Sur America

Copyright © Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Todos los Derechos Reservados 2007

**Figura 7. Pantallazo 2, Interfaz de consulta, aplicativo web.**

### 3.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SIG

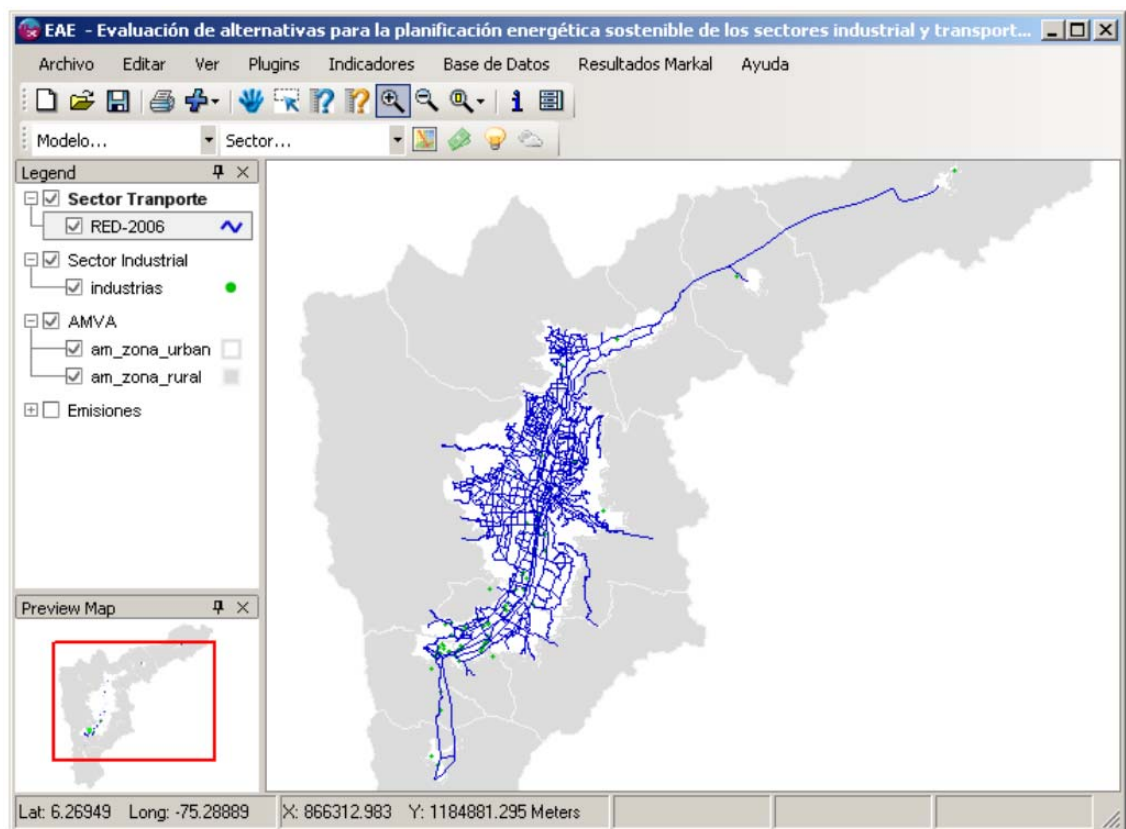
En el marco de los proyectos de modelamiento Energía Ambiente Economía, EAE, es indispensable el uso de herramientas tipo SIG que permitan la visualización de la información resultante sobre el territorio, y que permitan la presentación ágil de paquetes de mapas por escenarios y modelos, teniendo en cuenta el carácter prospectivo de la aplicación. La modelación por escenarios en modelos prospectivos, implica la producción de muchos mapas para un mismo resultado según las características de cada escenario de representación y por ello es fundamental que la herramienta de SIG utilizada le brinde herramientas al analista para el despliegue y comparación de los diversos mapas y el análisis y obtención de resultados derivados de éstos.

El SIG-EAE se realizó en la plataforma .NET y utilizando el lenguaje de programación C-Sharp. Utiliza a MapWindow GIS como núcleo del sistema,

proporcionando una interface programable con soporte para la manipulación, análisis y visualización de datos geoespaciales y sus respectivos atributos. Para una descripción más detallada se remite al lector a la referencia [ 14] Libro 5.

La integración del sistema de indicadores al SIG-EAE fue posible mediante las extensiones (plug-ins) del SIG, las cuales permiten agregar funcionalidad al sistema sin necesidad de modificar su núcleo interno.

La Figura 8 y Figura 9, presentan una imagen de la interfaz del SIG-EAE como herramienta de consulta para la visualización de resultados e indicadores.



**Figura 8. Pantallazo 3, Interfaz de consulta, SIG-EAE.**

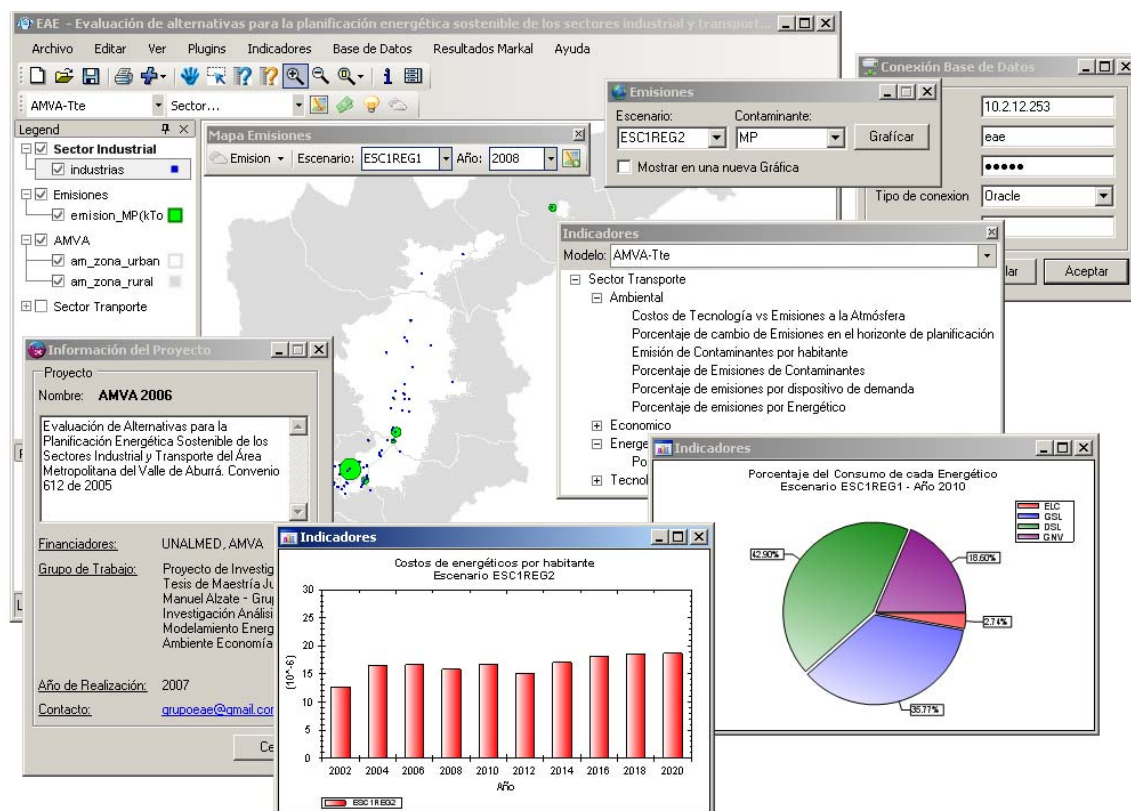


Figura 9. Pantallazo 4, Interfaz de consulta, SIG-EAE.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan ejemplos de consultas al sistema de indicadores y análisis a los mismos en el contexto del modelo de análisis correspondiente (Industria o transporte)

### 4.1 EJEMPLO 1

Se presenta de forma comparativa la solución a un problema planteado a través del procedimiento de búsqueda de los resultados en la base de datos general vs el uso de indicadores.

*Problema: el analista está interesado en la distribución porcentual de los costos asociados al sistema de transporte masivo Metroplús.*

Propuesta 1: Búsqueda en la base de datos general:

El analista puede consultar en la base de datos EAE e iniciar una búsqueda de las variables que involucran los costos de inversión en tecnologías (AC.INVEST), inversión en energéticos (AC.RESOURCE) y de costos asociados a operación y mantenimiento (AC.O&M.ALL). Identificadas las variables se extraen los resultados para las tecnologías de interés o para todo el escenario como es el caso del AC.INVEST y del AC.RESOURCE respectivamente.

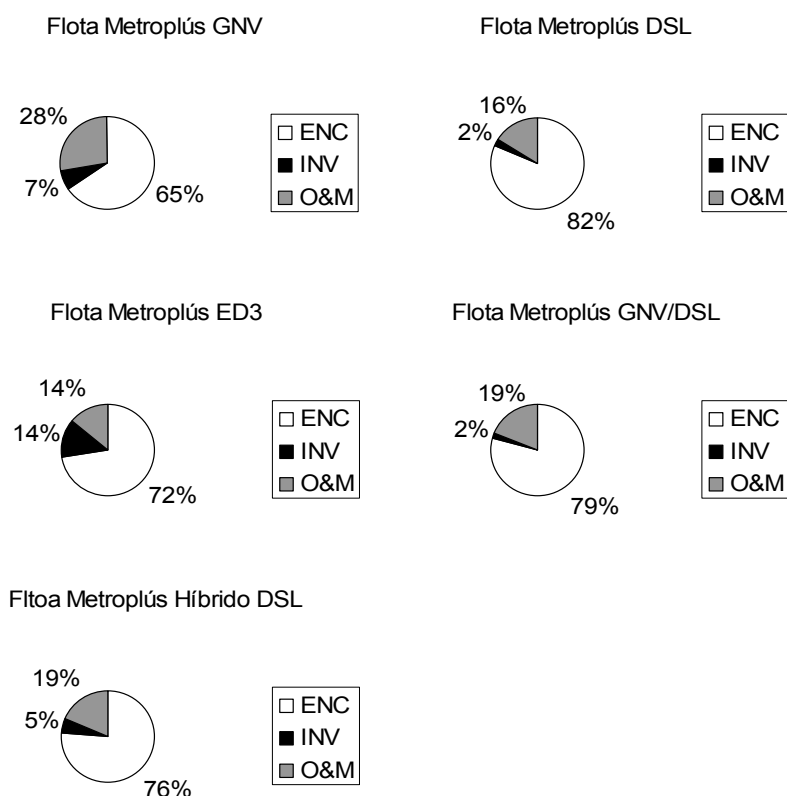
Observación: Esta forma de consulta requiere un conocimiento avanzado del modelo MARKAL, base de las aplicaciones.

Propuesta 2: Uso de indicadores

El analista puede encontrar la información a través de tres de los indicadores desarrollados para el análisis de la distribución de los costos asociados en cada escenario. Estos indicadores son el I 14, I 15, I 16 (ver Tabla 14).

Se consultan los indicadores para las cinco restricciones planteadas para el sistema Metroplús en los escenarios Flota Metroplús GNV (REM1), Flota Metroplús Diesel (REM2), Flota Metroplús ED3 (REM3), Flota Metroplús DSL/GNV (REM4) y Flota Metroplús Híbrido DSL (REM5) (ver [ 14] Libro 2 sección 5.4)

Observación: puede verse como los resultados luego de la consulta son inmediatos, sin necesidad de requerir de tiempo asociado al procesamiento de los resultados encontrados en la base de datos, ya que el sistema de consulta desarrolla todos los cálculos y operaciones necesarias entre resultados para arrojar solo el indicador que se requiere. En la Figura 10 puede verse una aproximación al despliegue de los indicadores.



**Figura 10. Distribución porcentual de los costos para los escenarios de restricciones de Metroplús**

## 4.2 EJEMPLO 2

### Indicador I 11: Emisión de Contaminantes por habitante en el AMVA

Se pretende conocer para los contaminantes CO, MP y CO<sub>2</sub> la cantidad emitida en el horizonte de planificación por habitante del Área Metropolitana, I 11. Para la consulta de este indicador se tendrán en cuenta los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0 que son los escenarios indexados como 1 y 2 con las restricciones que presentan un comportamiento inercial. Los resultados de las restricciones inerciales se compararan con los resultados del indicador para los escenarios 1 y 2 con las restricciones que representan la masificación del GNV ESC1REG1 y ESC2REG1.

**Respuesta/:** La consulta arroja como resultado la gráfica presentada en la Figura 11.

#### Observaciones

Se busca comparar el impacto sobre las emisiones derivadas de la penetración de gas natural en el sistema general de transporte.

Las emisiones por habitante son menores para el ESC2 de demanda, cualquiera sea la restricción de análisis. Esto indica que un escenario de propensión al sistema integrado de transporte, significa en todos los casos una reducción de las emisiones de contaminantes.

Haciendo un análisis del comportamiento de cada una de las emisiones de contaminantes se puede ver de las graficas como las disminuciones son mucho más notorias para el MP. Cuando se toman los escenarios inerciales como referencia puede verse como la propensión por el transporte público disminuye las emisiones de MP en más de un 25% (una disminución de 160gr a 120gr por habitante en el año 2018) con respecto a un escenario de aversión al servicio público. Ahora haciendo esta misma comparación pero entre diferentes restricciones podemos ver como para el escenario 2 con restricciones inercial (REG1) y de masificación del GNV (REG2), la disminución es de aproximadamente el 33%.

Haciendo un análisis similar para CO y CO<sub>2</sub> se puede ver como hay un comportamiento similar de disminución de las emisiones por habitante cuando se considera una restricción de masificación de GNV al ser comparada con una restricción inercial. En el caso de CO la disminución es de aproximadamente un 33%, y en el caso del CO<sub>2</sub> es de 10%.

La pertinencia de esta información para análisis de beneficio social e incluso de perfiles epidemiológicos en la Región es indiscutible. Acorde con el interés

general del proyecto de investigación, estos resultados proveerán una plataforma de debate técnico para las discusiones políticas, económicas y sociales de proyectos estratégicos de descontaminación en la región.

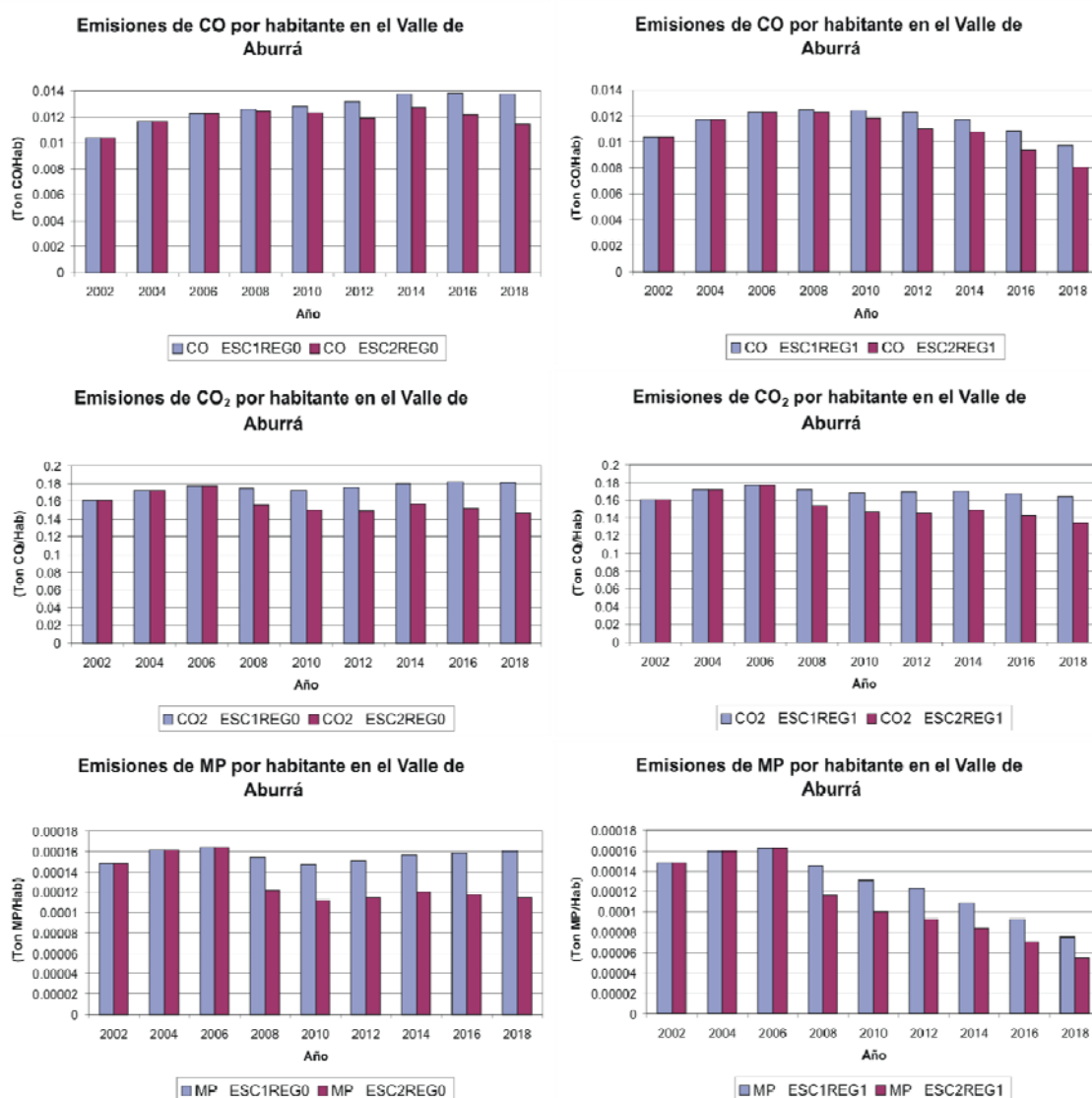


Figura 11. Emisiones por habitante de CO, CO<sub>2</sub> y MP en el Valle de Aburrá para los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0 y ESC1REG1 y ESC2REG1.

### 4.3 EJEMPLO 3

#### Indicador I 7: Porcentaje del consumo de cada Energético



Se quiere conocer cómo evoluciona la distribución de consumo de energéticos en el Valle de Aburrá. Esta información describirá la dinámica de consumo de los diferentes energéticos para el sector transporte analizado.

La consulta se hace para los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0 que representan un crecimiento inercial del consumo con base en las tendencias actuales, y también para los escenarios ESC1REG2 y ESC2REG2 que representan una entrada gradual del etanol en la canasta energética. De esta manera se puede hacer una comparación de cómo cambia el porcentaje de consumo de los energéticos en el horizonte de planificación para dos escenarios de demanda diferentes con dos restricciones de consumo diferentes REG0 (inercial) y REG2 (introducción del Etanol).

**Respuesta/:** La consulta arroja como resultado las Figura 12 y Figura 13.

En la Figura 12 se puede ver como el consumo de los combustibles, cuando se tiene en cuenta un escenario inercial, conserva la misma canasta energética con variaciones sobre las proporciones de uso en cada escenario. Para el ESC1 puede verse como el consumo se distribuye de manera más equitativa entre la gasolina y el diesel, debido a que el desmonte en los subsidios del diesel lo hacen cada vez menos competitivo con la gasolina. En este mismo escenario la electricidad se mantiene en un 3% representado por los sistemas Metro y Metrocable, y el GNV aumenta en un rango del 3% al 10% del consumo total de combustibles.

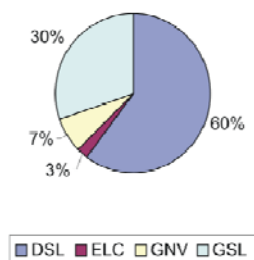
Cuando se ven los resultados del ESC2 podemos ver un aumento significativo en la participación de la Electricidad y el GNV, debido al aumento de la demanda de los sistemas de transporte masivo, Metro+Metrocable+Metroplús. En los escenarios inerciales el sistema asigna GNV a Metroplús como alternativa más económica

Ahora teniendo en cuenta los mismos dos escenarios de demanda, pero con una restricción de introducción de Etanol en la canasta energética, podemos ver, Figura 13, que parte del consumo que inicialmente se hacía de gasolina es sustituido por el Etanol, mostrando un cambio en las dinámicas de consumo de energéticos en el Valle de Aburrá. En este caso se puede ver como el consumo de energéticos alternativos desplazan de manera significativa, casi en un 50% a energéticos que han sido empleados de manera tradicional.

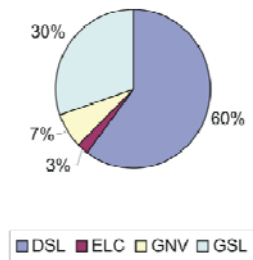
El comportamiento del consumo es similar al que se encontró en el análisis anterior, el consumo de electricidad por parte del Metro es casi constante, y el consumo de GNV aumenta significativamente en el caso en que se tiene en cuenta la propensión por el transporte público.

En cuanto a la utilidad de este indicador, este tipo de resultados son valiosos para la planificación de la disponibilidad en el abastecimiento futuro de energéticos. Se debe tener en cuenta que el cambiar los parámetros en las condiciones iniciales de modelamiento hace que la distribución sea diferente para cada uno de los escenarios.

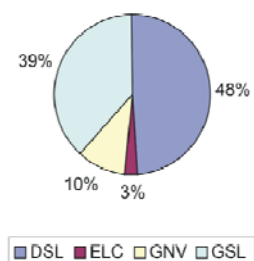
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2002 ESC1REG0



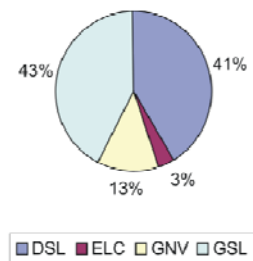
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2002 ESC2REG0



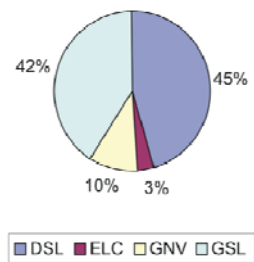
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2010 ESC1REG0



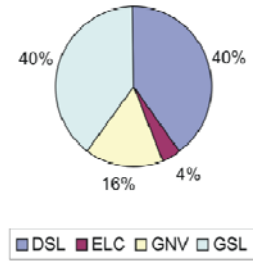
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2010 ESC2REG0



Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2020 ESC1REG0

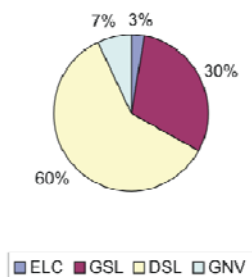


Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2020 ESC2REG0

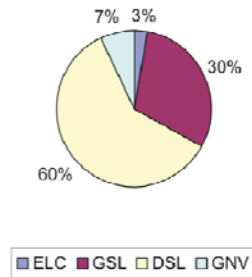


**Figura 12. Porcentaje del consumo de cada Energético en el sector transporte para los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0.**

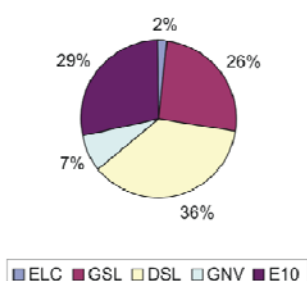
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2002 ESC1REG2



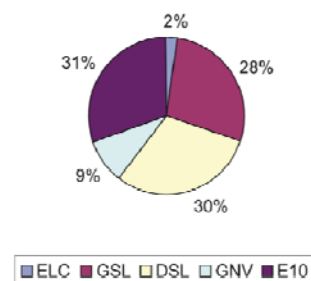
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2002 ESC2REG2



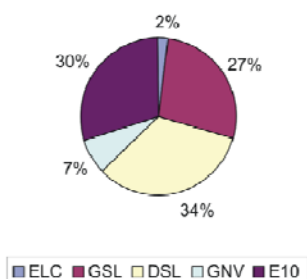
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2010 ESC1REG2



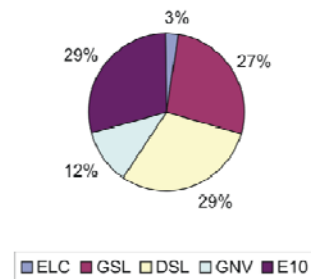
Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2010 ESC2REG2



Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2020 ESC1REG2



Porcentajes de consumo de combustibles para el año  
2020 ESC2REG2



**Figura 13. Porcentaje del consumo de cada Energético en el sector transporte para los escenarios ESC1REG0 y ESC2REG0.**

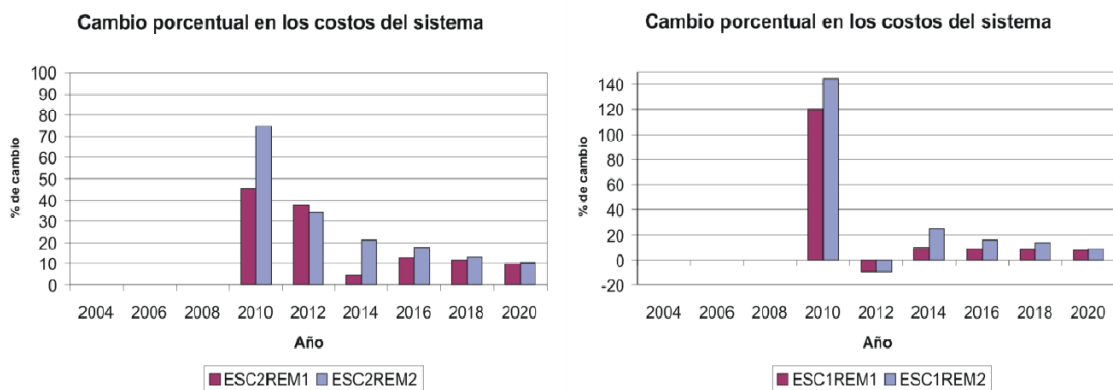
#### 4.4 EJEMPLO 4

##### **Indicador I 20: Porcentaje de cambio de los costos del sistema en el horizonte de planificación**

Para cada uno de los escenarios, ESC1 y ESC2, se pretende conocer como varían los costos totales del sistema para todo el horizonte de planificación

según las restricciones del sistema Metroplús REM1 y REM2 (ver Tabla 4). El análisis se hace periodo a periodo con base en la variación entre periodos. Este indicador permite también hacer comparaciones entre escenarios.

**Respuesta/:** La consulta arroja como resultado la Figura 14.



**Figura 14. Cambio porcentual de los costos del sistema con respecto al año anterior**

Los porcentajes de cambio ilustran información referente a los cambios entre restricciones para cada uno de los escenarios. Por ejemplo, el análisis de cambios entre las restricciones REM1-Sistema Metroplús operado con GNV y REM2-Sistema Metroplús operado con DSL para cada escenario, hará referencia al cambio en los costos para cada uno de los periodos de planificación con respecto al anterior, mostrando como es el comportamiento de la inversión para cada una de las alternativas.

Estas gráficas ilustran como los costos del sistema están amarrados al escenario de entrada de tramos dado que se asume que las inversiones iniciales se realizan en el año de entrada de cada tramo en análisis. De ahí que se observen cambios negativos, referentes a un año de no entrada de tramos y por tanto de no inversiones inmediatas pero en el que probablemente se empiezan a depreciar tecnologías o entra en vigencia la proyección de chatarrización.

Para ambos escenarios de modelación (ESC1 Y ESC2) se puede observar como el porcentaje de inversión para cada uno de los periodos con respecto al anterior es mayor para una restricción de Metroplús operado con DSL. Estas diferencias en la inversión pueden deberse a las variaciones en el precio de los

combustibles al avanzar el horizonte de planificación y la reducción y estabilización en los porcentajes puede ser debida al avance en las curvas de aprendizaje de las tecnologías empleadas en el sistema Metroplús.

Este indicador se convierte entonces en una herramienta para el análisis financiero de la inversión a través del horizonte de planificación en alternativas tan específicas como el proyecto Metroplús. Sirve para analizar la disponibilidad de recursos entre periodos de planificación, y de esta manera conocer el comportamiento de la inversión.

## **CONCLUSIONES**

- Es posible el desarrollo de indicadores que permitan el análisis de la evolución de los resultados en procesos de planificación prospectiva, los cuales sirven como parámetro para medir la efectividad en la gestión de las entidades territoriales y ambientales.
- Los indicadores formulados son una herramienta para análisis prospectivo que permitan una valoración más clara de las ventajas o desventajas de diferentes proyectos de producción más limpia en industria o transporte en el Valle de Aburrá.
- La interpretación geográfica de resultados de modelación permite la comparación entre diferentes localidades, y de esta manera enfocar al planificador en aquellas que requieren de mayores intervenciones.
- El desarrollo de indicadores necesita del conocimiento de las necesidades del planificador, si no se conoce cuales son los análisis que este considera relevantes pueden desarrollarse indicadores que desde el punto de vista académico sean interesantes, pero que para la entidad tomadora de decisiones no muestren resultados suficientemente útiles para la gestión.

## BIBLIOGRAFÍA

- [ 1] ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Indicadores de Gestión, Calidad de Vida e Impacto. [En línea]. Disponible en < <http://www.metropol.gov.co/contenidos.php?seccion=17>>
- [ 2] Benjumea, Miriam de J. Propuesta de un sistema de indicadores Ambientales como un instrumento de Análisis del estado de la gestión y la calidad ambiental de la zona rural del municipio de Itagüí. Trabajo Final de Grado, Posgrado en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Medellín, Colombia 2001.
- [ 3] Departamento Administrativo de Planeación de Medellín, Evolución de las Condiciones de Vida y Reestimación del Indicador de Calidad de Vida para la Ciudad de Medellín, Medellín, Marzo de 2005
- [ 4] Desarrollo de Indicadores: Lecciones Aprendidas de América Latina CIAT – PNUMA (Indicadores de usos del suelo). [En línea]. Disponible en < <http://www.ciat.cgiar.org/indicators/indicadores/toolkit.htm>>
- [ 5] Goldstein G., Kanudia A., and Loulou R. MARKAL an Energy-Environment-Economic Model for Sustainable Development, 2003.
- [ 6] PGW Keen, MSS Morton. Decision support systems: an organizational perspective. Addison-Wesley Publishing Company, 1978.
- [ 7] Lolou R., Goldstein, G., Noble K., 2004. Documentation for the MARKAL Family of Models. [En línea]. (Última revisión mayo de 2007). Disponible en< <http://www.etsap.org/Tools/MARKAL.htm>>.
- [ 8] MapWindow, [En línea]. Disponible en < <http://www.mapwindow.com>>
- [ 9] MEDINA, Ramón. *Toma de decisiones*. [En línea] (2006) [última consulta: 20 de marzo del 2009]. Disponible en <<http://ramonmedina.name/files/universidad/td/td0001.pdf>>.
- [ 10] Oracle, [En línea]. Disponible en < <http://www.oracle.com>>
- [ 11] Sistema de Indicadores gráficos desarrollado por el Chasque – Instituto para el Tercer Mundo (Montevideo, Uruguay). [En línea]. Disponible en < <http://www.guiadelmundo.org.uy/cd/indicators/index.htm?idioma=es>>
- [ 12] The Visual Studio Combined Help Collection Microsoft Visual Studio 2005 Documentation. Microsoft Document Explorer. Version 8.0.50727.42 RTM
- [ 13] Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Empresas Publicas de Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Evaluación integrada ambiente - energía - economía para la planificación sostenible de núcleos locales, caso de aplicación Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2005.Pp. 174



- [ 14] \_\_\_\_\_. Evaluación de Alternativas para la Planificación Energética Sostenible de los Sectores Industrial y Transporte del Área Metropolitana del Valle De Aburrá. Medellín, Colombia, 2007.
- [ 15] Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Cornare, Corantioquia. 2006. En ejecución (2006-2007). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá. Fase Diagnóstico. Documento inédito.
- [ 16] User Manual. ANSWER MARKAL, an Energy Policy Optimisation Tool. Version 3.5.4 ABARE

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1 Formulación matemática de los indicadores**

Para el desarrollo de los indicadores se tienen que hacer diferentes operaciones entre las variables resultantes de la modelación, a continuación hace una descripción detallada de las variables que se tienen en cuenta y las operaciones realizadas entre ellas para la definición de cada uno de los indicadores

Indicadores según Tabla 14

#### **A.1 Indicadores I 1 a I 4**

- I 1. Número de Vehículos en el Escenario
- I 2. Número de vehículos en el escenario según el tipo de energético
- I 3. Número de vehículos en el escenario según el tipo de dispositivo
- I 4. Número de vehículos en el escenario según el dispositivo y el energético

Para el cálculo de los del número de vehículos según los resultados del modelo, el cual es uno de los resultados necesarios para el desarrollo de varios indicadores se procede de la siguiente manera:

Del INVEST:L resultado de ANSWER se suman todas los campos que contienen demandas iguales, para cada uno de los tramos en cada uno de los escenarios (Ejemplo se suman T002CLLLLD+ T004CLLLLD + T007CLLLLD +....., la suma total son todos los millones de vehículos kilómetro de TCLLLLD en los que invierte el modelo para cada uno de los escenarios) obteniéndose así una serie de tiempo de valores anuales para cada tipo de dispositivo, que es lo que queda al quitar el termino que representa el tramo (componente numérica en el código), a estos valores se los multiplica por un millón ya que se quiere conocer el numero de vehículos y las unidades están expresadas en millones de vehículo kilómetro, y luego se divide entre los kilómetros recorridos en promedio por cada uno de los dispositivos, este valor de recorrido promedio

diario es un valor que no esta asociado a ANSWER, es información que debe agregarse a la base de datos.

De esta manera se obtienen todos los vehículos en los que se invierte, cada uno discriminado por tipo de tecnología, por energético, por demanda y por escenario (la demanda y el energético se encuentran en el código de la tecnología, y los escenarios del 1-10, Tabla 4, son parte de la información de las tecnologías agregadas por tramo).

Resultados de la operación en la base de Datos:

VEHs (vehículos totales en el escenario), VEHes (vehículos por energético en el escenario), VEHds (vehículos por dispositivo en el escenario), y VEHdes (vehículos por dispositivo y por energético en el escenario).

Ejemplos:

VEHs: Número de vehículos total en el escenario ESC1REG1

VEHes: Número de vehículos operados con DSL en el escenario ESC1REG1

VEHds: Número de Buses en el escenario ESC1REG1

VEHdes: Número de Buses operados con DSL en el escenario ESC1REG1

## **A.2 Indicador I 5**

- I 5. Porcentaje de Vehículos por Energético

$$\text{VEHes} / \text{VEHs} \times 100$$

donde

VEHes: vehículos por energético en el escenario s

VEHs vehículos totales en el escenario s.

Se hace la suma del total de vehículos en el escenario VEHs y la suma de los vehículos operados con un energético en particular en el escenario VEHes

En este caso el usuario hace el análisis haciendo variar el escenario, de esta manera se despliegan los resultados para todos los energéticos:

$$\text{VEHes} / \text{VEHs}, e: 1, \dots, 7 \text{ para } s = 13$$

$$\text{VEHes} / \text{VEHs}, e: 1, \dots, 7 \text{ para } s = 14$$

VEHes / VEHs, e: 1,.....7 para s = 15

VEHes / VEHs, e: 1,.....7 para s = 16

VEHes / VEHs, e: 1,.....7 para s = 17

VEHes / VEHs, e: 1,.....7 para s = 18

VEHes / VEHs, e: 1,.....7 para s = 20

VEHes / VEHs, e: 1,.....7 para s = 20

Para los escenarios s de 1 a 12 no se calcula este escenario, ya que los escenarios de Metroplús tienen la particularidad de tener una distribución porcentual de 100% debido a que toda la flota es operada con un mismo energético.

### **A.3 Indicador I 6**

- I 6. Porcentaje de Industrias por Energético

INDes / INDs x100

El número total de industrias que se tiene en cuenta para la modelación ha sido definido desde el inicio del proyecto, pero para como la consulta se hace desde la base de datos, esta puede hacerse por medio del código de cada una de las tecnologías industriales

Se muestra a continuación la variación de cada uno:

INDs es el número total de industrias en el escenario s

INDes es el número total de industrias que utilizan el energético e en el escenario s

Este indicador tiene la posibilidad de ser calculado para toda el Área Metropolitana, o por zonas, por eso se debe incluir la opción de elección de zona para su cálculo.

INDes / INDs e = 1, 3, 8.....,20 , s = 21

INDes / INDs e =1, 3, 8.....,20, s = 22

INDes / INDs e = 1, 3, 8.....,20, s = 23

⋮

INDes / INDs e = 1, 3, 8.....,20, s = 43

INDes / INDs e = 1, 3, 8.....,20, s = 44

INDes / INDs e = 1, 3, 8.....,20, s = 45

#### A.4 Indicador I 7

- I 7. Porcentaje del consumo de cada Energético

CONes / CONs x100

Los resultados arrojados por ANSWER en su variable FUELUSE.TOT están discriminados por escenario y por combustible, de esta manera se tienen los consumos totales por parte de todo el sistema energético para cada año y cada combustible en cada escenario, variable que será llamada en este indicador CONes. La variable CONs es la suma de los CONes resultantes para cada escenario año a año.

$CONs = \sum CONes, e = 1, \dots, 20, s = 1$

$CONs = \sum CONes, e = 1, \dots, 20, s = 2$

$CONs = \sum CONes, e = 1, \dots, 20, s = 3$

$CONs = \sum CONes, e = 1, \dots, 20, s = 4$

$CONs = \sum CONes, e = 1, \dots, 20, s = 5$

⋮

$CONs = \sum CONes, e = 1, \dots, 20, s = 45$

$CONes / CONs, e = 1, \dots, 20, s = 13$

$CONes / CONs, e = 1, \dots, 20, s = 14$

$CONes / CONs, e = 1, \dots, 20, s = 15$

$CONes / CONs, e = 1, \dots, 20, s = 16$

⋮

CONes / CONs, e = 1,...,20, s = 42

CONes / CONs, e = 1,...,20, s = 43

CONes / CONs, e = 1,...,20, s = 44

CONes / CONs, e = 1,...,20, s = 45

#### A.5 Indicador I 8

- I 8. Costos del sistema por habitante

COSs / POBj

El costo total del sistema está dado por la variable U.TOTCOST de los resultados del modelo y viene dado por escenario año a año, esta será la variable COSs para el indicador. En este indicador el usuario haría la consulta por escenario, y para toda el AMVA. Se necesita para su desarrollo la incorporación de proyecciones de población para el AMVA hasta el año 2020.

COSs / POB s = 1,.....,45

#### A.6 Indicador I 9

- I 9. Costos de energéticos por habitante

CENes / POBj

El costo de inversión en energéticos esta dado por la variable AC.RESOURCE de los resultados del modelo y esta distribuido por escenario y por energético año a año, esta será la variable CENes para el indicador. En este indicador el usuario haría la consulta por escenario, y para toda el AMVA. Se necesita para su desarrollo la incorporación de proyecciones de población para el AMVA hasta el año 2024.

$CENs = \sum CENes, e = 1,.....,20, s = 1$

$CENs = \sum CENes, e = 1,.....,20, s = 2$

$$CENs = \sum CENes, e = 1, \dots, 20, s = 3$$

⋮

$$CENs = \sum CENes, e = 1, \dots, 20, s = n$$

$$CENs / POB \ s = 1, \dots, 45$$

#### A.7 Indicador I 10

- I 10. Costos de Tecnologías por habitante

$$CINs / POBj$$

El costo de inversión en energéticos esta dado por la variable AC.INVEST de los resultados del modelo y esta distribuido por escenario y por tecnología año a año, esta será la variable CINds para el indicador. En este indicador el usuario haría la consulta por escenario, y para toda el AMVA. Se necesita para su desarrollo la incorporación de proyecciones de población para el AMVA hasta el año 2024.

$$CINs = \sum CINds, d = 1, \dots, n, s = 1$$

$$CINs = \sum CINds, d = 1, \dots, n, s = 2$$

$$CINs = \sum CINds, d = 1, \dots, n, s = 3$$

⋮

$$CINs = \sum CINds, d = 1, \dots, n, s = n$$

El indicador definido como la inversión por habitante en nuevas tecnologías (total) seria:

$$CINs / POB \ s = 1, \dots, n$$

#### A.8 Indicador I 11

- I 11. Emisión de Contaminantes por habitante en el AMVA

$$EMI_{ps} / POB_j$$

Este indicador se desarrolla con la variable resultante del modelo EMISSION.L, en esta se encuentran los diferentes resultados de emisión discriminados por tramo, para los diferentes contaminantes año a año, EMISSION.L tiene también el valor resultante total año a año de cada una de las emisiones, en el caso del transporte se identifican como las emisiones TRNCO, TRNCO<sub>2</sub>, TRNSO<sub>2</sub>, TRNMP, TRNVOC y TRNNOX, definiéndose así cada valor de la variable del indicador EMI<sub>ps</sub>. Para las emisiones del sector industrial, en el modelo AMVA06 o UERE la variable EMISSION.L tiene discriminada la emisión de cada sector año a año para cada contaminante. Al igual que en los indicadores anteriores se necesita hacer la inclusión de proyecciones de población para toda el AMVA.

$$EMI_p = TRN (\text{contaminante}) \text{ o } IND (\text{contaminante})$$

$$EMI_1 = TRNCO \text{ o } INDCO$$

$$EMI_2 = TRNCO_2 \text{ o } INDCO_2$$

$$EMI_3 = INDSO_2$$

$$EMI_4 = TRNMP \text{ o } INDMP$$

$$EMI_5 = TRNNOX \text{ o } INDNOX$$

$$EMI_6 = TRNCOV \text{ o } TRNCOV$$

Con la definición de cada uno de los EMI<sub>p</sub> para el sector transporte en este caso, se tiene entonces que el indicador es igual a:

$$EMI_{ps} / POB_j, p = 1, \dots, 6, s = 1, j = 1$$

$$EMI_{ps} / POB_j, p = 1, \dots, 6, s = 2, j = 1$$

$$EMI_{ps} / POB_j, p = 1, \dots, 6, s = 3, j = 1$$

$$EMI_{ps} / POB_j, p = 1, \dots, 6, s = 4, j = 1$$

⋮



$$\text{EMIps} / \text{POBj}, p = 1, \dots, 6, s = n, j = 1$$

#### A.9 Indicador I 12

- I 12. Porcentaje de emisiones por dispositivo de demanda

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}$$

Ya que la variable EMIS.TCH.TOT tomada de los resultados del modelo está compuesta por valores de emisión asociados a cada una de las tecnologías, para cada uno de los contaminantes y para cada uno de los energéticos año a año, se pueden discriminar las emisiones por cada una de las tecnologías que satisfacen una única demanda con los vínculos de códigos en la Base de Datos

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 1, s = 13$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 2, s = 13$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 3, s = 13$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 4, s = 13$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 5, s = 13$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 6, s = 13$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 1, s = 14$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 2, s = 14$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 3, s = 14$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 4, s = 14$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 5, s = 14$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 6, s = 14$$

⋮

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 1, s = n$$

$$\text{EMIdps} / \text{EMIs}, d = 1, \dots, n, p = 2, s = n$$

$$EMIdps / EMIs, d = 1.....n, p = 3, s = n$$

$$EMIdps / EMIs, d = 1.....n, p = 4, s = n$$

$$EMIdps / EMIs, d = 1.....n, p = 5, s = n$$

$$EMIdps / EMIs, d = 1.....n, p = 6, s = n$$

#### A.10 Indicador I 13

- I 13. Porcentaje de emisiones por Energético

$$EMleps / EMlps$$

De la variable EMIS.TCH.TOT se pueden obtener también las emisiones asociadas a cada uno de los energéticos, para encontrar las emisiones asociadas a cada uno de los energéticos agregando las de todas las tecnologías que consumen el mismo energético de esta manera se tiene que:

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = 13$$

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = 14$$

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = 15$$

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = 16$$

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = 17$$

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = 18$$

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = 20$$

⋮

$$EMlep = \sum EMle, p = 1.....6, s = n$$

#### A.11 Indicador I 14

- I 14. Porcentaje de los costos asociados a la inversión en nuevas tecnologías

$$\text{CINs} / \text{COSs} \times 100$$

Para este indicador se utilizan los resultados AC.INVEST, AC.RESOURCE y AC.O&M.ALL los dos primeros vienen del modelo por cada una de las tecnologías, y la ultima por cada uno de los energéticos, por esto se deben totalizar para cada uno de los escenarios, con el fin de tener un único valor para cada año de cada una de estas variables, CINs y COSs serian entonces el total de los AC.INVEST y la suma de los totales de AC.INVEST + AC.RESOURCE + AC.O&M.ALL respectivamente.

$$\text{CINs} / \text{COSs} \times 100, s = 1 \dots n$$

#### **A.12 Indicador I 15**

- I 15. Porcentaje de los costos asociados a la operación y mantenimiento

$$\text{COMs} / \text{COSs} \times 100$$

Para este indicador se utilizan los resultados AC.INVEST, AC.RESOURCE y AC.O&M.ALL los dos primeros vienen del modelo por cada una de las tecnologías, y la ultima por cada uno de los energéticos, por esto se deben totalizar para cada uno de los escenarios, con el fin de tener un único valor para cada año de cada una de estas variables, COMs y COSs serian entonces el total de los AC.O&M.ALL y la suma de los totales de AC.INVEST + AC.RESOURCE + AC.O&M.ALL respectivamente.

$$\text{COMs} / \text{COSs} \times 100, s = 1 \dots n$$

#### **A.13 Indicador I 16**

- I 16. Porcentaje de los costos asociados a Energéticos

$$\text{CENs} / \text{COSs} \times 100$$

Para este indicador se utilizan los resultados AC.INVEST, AC.RESOURCE y AC.O&M.ALL los dos primeros vienen del modelo por cada una de las tecnologías, y la ultima por cada uno de los energéticos, por esto se deben totalizar para cada uno de los escenarios, con el fin de tener un único valor

para cada año de cada una de estas variables, CENs y COSs serian entonces el total de los AC.RESOURCE y la suma de los totales de AC.INVEST + AC.RESOURCE + AC.O&M.ALL respectivamente.

$$\text{CENs / COSs} \times 100, s = 1 \dots n$$

#### A.14 Indicador I 17

- I 17. Costos de Tecnología vs Emisiones a la Atmósfera

CINdep vs EMldep

Para este indicador el AC.INVEST debe totalizarse por dispositivo y por energético que consume, los EMIS.TCH.TOT se totalizan por dispositivo, por energético y por emisión

Para este indicador la consulta puede hacerse general, restringir a solo un escenario y año porque lo único que hace es comparar las diferencias entre uno y otro dispositivo de demanda, mejor hacer la consulta por dispositivo, y así se despliega la diferencia entre los mismos dispositivos para cada uno de los energéticos que emplea para un contaminante.

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 1 d = 1

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 2 d = 1

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 3 d = 1

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 4 d = 1

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 5 d = 1

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 6 d = 1

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 1 d = 2

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 2 d = 2

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 3 d = 2

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 4 d = 2

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 5 d = 2

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 6 d = 2

⋮

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 1 d = n

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 2 d = n

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 3 d = n

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 4 d = n

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 5 d = n

CINdep vs EMldep e = 1.....20, p = 6 d = n

#### A.15 Indicador I 18

- I 18. Emisión de contaminante por habitante en la zona j

EMlpsj / POBj

Para el indicador 7 se determinaron los EMlps, pero se hace una modificación para las necesidades de este indicador, el EMlps es este caso será la totalización de los EMIS.TCH.TOT para cada tramo o industria perteneciente a una zona particular.

Se hace la consulta por zona, por el momento las zonas son solo los municipios, ya que los datos poblacionales se tienen por municipio, de esta manera se identifican todos los resultados asociados a una zona, y se totalizan. Para este indicador se requieren las diferentes proyecciones de población de cada uno de los municipios del AMVA.

EMlpsj / POBj, s = 1.....n, p = 1, j = 1.

EMlpsj / POBj, s = 1.....n, p = 2, j = 1

EMlpsj / POBj, s = 1.....n, p = 3, j = 1

EMlpsj / POBj, s = 1.....n, p = 4, j = 1

EMlpsj / POBj, s = 1.....n, p = 5, j = 1

$$EMIpsj / POBj, s = 1.....n, p = 6, j = 1$$

⋮

$$EMIpsj / POBj, s = 1.....n, p = 1, j = 27$$

$$EMIpsj / POBj, s = 1.....n, p = 2, j = 27$$

$$EMIpsj / POBj, s = 1.....n, p = 3, j = 27$$

$$EMIpsj / POBj, s = 1.....n, p = 4, j = 27$$

$$EMIpsj / POBj, s = 1.....n, p = 5, j = 27$$

$$EMIpsj / POBj, s = 1.....n, p = 6, j = 27$$

#### **A.16 Indicador I 19**

- I 19. Porcentaje de Emisiones de contaminantes de la zona j

$$EMIpsj / EMIps$$

Como se dijo en el indicador anterior el EMIpsj es la totalización de las emisiones del contaminante p en todos los tramos o industrias identificadas como de la zona j, ahora el EMIps de toda el AMVA es el tomado de los totales de emisión por contaminante p en la variable EMISSION.L (ver indicador 7)

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 1, j = 1$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 2, j = 1$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 3, j = 1$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 4, j = 1$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 5, j = 1$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 6, j = 1$$

⋮

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 1, j = 34$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 2, j = 34$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 ..... n, p = 3, j = 34$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 \dots n, p = 4, j = 34$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 \dots n, p = 5, j = 34$$

$$EMIpsj / EMIps, s = 1 \dots n, p = 6, j = 34$$

#### A.17 Indicador I 20

- I 20. Porcentaje de cambio de los Costos del sistema en el horizonte de planificación

$$((COSs)^{t+1} / (COSs)^t) - 1 * 100$$

Para cada uno de los escenarios se tiene el costo total del sistema U.TOTCOST, se puede ver la variación año a año introduciendo una variable t (Tabla 10) que representa el valor cada uno de los años de modelación, la variable COSs seria el valor de U.TOTCOST.

$$((COSs)^{t+1} / (COSs)^t) - 1 * 100, t = 1 \dots 10, s = 1$$

$$((COSs)^{t+1} / (COSs)^t) - 1 * 100, t = 1 \dots 10, s = 2$$

$$((COSs)^{t+1} / (COSs)^t) - 1 * 100, t = 1 \dots 10, s = 3$$

$$((COSs)^{t+1} / (COSs)^t) - 1 * 100, t = 1 \dots 10, s = 4$$

$$((COSs)^{t+1} / (COSs)^t) - 1 * 100, t = 1 \dots 10, s = 5$$

⋮

$$((COSs)^{t+1} / (COSs)^t) - 1 * 100, t = 1 \dots 10, s = n$$

#### A.18 Indicador I 21

- I 21. Porcentaje de cambio de emisiones en el horizonte de planificación

$$(EMIps)^{t+1} / (EMIps)^t - 1 * 100$$

Para cada uno de los escenarios se tiene la emisión total del sistema por contaminante p y por año en la variable EMISSION.L, esta ya se ha definido

para cada escenario como EMlps. La consulta de este indicador se puede hacer por escenario.

$$\begin{aligned}
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 1, s = 1 \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 2, s = 1 \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 3, s = 1 \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 4, s = 1 \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 5, s = 1 \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 6, s = 1 \\
 & \vdots \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 1, s = n \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 2, s = n \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 3, s = n \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 4, s = n \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 5, s = n \\
 & ((\text{EMlps})^{t+1} / (\text{EMlps})^t)^{-1} * 100, t = 1 \dots 10, p = 6, s = n
 \end{aligned}$$

#### A.19 Indicador I 22

- I 22. Porcentaje de Vehículos por tipo y Energético

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} \times 100$$

Puede también desarrollarse un indicador que permita conocer el porcentaje de dispositivos operados con algún energético del total de dispositivos en el escenario, ejemplo: conocer el porcentaje de buses operados con DSL del total de buses en el escenario ESC1REG0.

VEHds: número de vehículos por dispositivo en el escenario, y VEHdes: número de vehículos por dispositivo y por energético en el escenario.



El usuario escoge el dispositivo que desea analizar en cada uno de los escenarios:

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 1, s=13

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 2, s=13

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 3, s=13

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 4, s=13

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 5, s=13

⋮

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 1, s=14

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 2, s=14

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 3, s=14

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 4, s=14

VEHdes / VEHds, e:1,.....7, d = 5, s=14

#### **A.20 Indicador I 23**

- I 23. Comparación del parque automotor entre escenarios

VEHs vs VEHs+i

Con el número de vehículos por escenario VEHs se procede a la comparación entre escenarios, así puede definirse un nuevo indicador:

VEHa vs VEHb donde s y s+i son diferentes escenarios, a continuación se presenta la forma de variación de ambos subíndices

Para las alternativas del sistema Metroplús (Escenarios 1-10): Para este caso el indicador sería útil para la caracterización de las diferencias entre del número total de vehículos en los que se invertiría en cada escenario de Metroplús:

Es posible la comparación entre cualquier escenario (ver Tabla 4) s (1,6) con cualquier escenario s + i (7,12). (1-7, 1-8, 1-9,....., 6-12). Las comparaciones principales son las hechas entre escenarios con las mismas restricciones 1-7,

2-8, 3-9, 4-10, 5-11, 6-12 ya que se esta haciendo una comparación entre las diferentes opciones.

VEHs vs VEHs+6, s = 1,.....,12

Para las alternativas de restricción energética (Escenarios 13-20): Al igual que en el caso anterior es posible la comparación entre cualquier escenario (ver Tabla 4) s (13,16) con cualquier escenario s + i (17, 20). (13-17, 13-18, 13-20,....., 16-20). Las comparaciones principales son las hechas entre escenarios con las mismas restricciones 13-17, 14-18, 15-20, 16-20, ya que se esta haciendo una comparación entre las diferentes opciones.

VEHs vs VEHs+4, s = 13,.....,20

#### A.21 Indicador I 24

- I 24. Cambio del parque automotor en el horizonte de planificación

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_t) - 1 * 100$$

Con el número de vehículos por escenario año a año se puede hacer un análisis del cambio del parque automotor a medida que avanza el horizonte de planificación con respecto al primer año:

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_t) - 1 * 100$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 13$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 14$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 15$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 16$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 17$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 18$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 20$$

$$((\text{VEHs})_{t+1} / (\text{VEHs})_1) - 1, t = 1.....10, s = 20$$

#### A.22 Indicador I 25

- I 25. Porcentaje de cambio del consumo de un energético en un escenario para el horizonte de planificación

$$((\text{CONes})_{t+1}/(\text{CONes})_t) - 1 * 100$$

Una vez obtenido el consumo de un energético por escenario CONes se puede hacer la caracterización del cambio en el consumo de ese energético a lo largo de los 10 periodos del horizonte de planificación.

$$((\text{CONes})_{t+1}/(\text{CONes})_t) - 1 * 100$$

$$((\text{CONes})_{t+1}/(\text{CONes})_1) - 1 * 100, t = 1.....10, s = 1$$

$$((\text{CONes})_{t+1}/(\text{CONes})_1) - 1 * 100, t = 1.....10, s = 2$$

⋮

$$((\text{CONes})_{t+1}/(\text{CONes})_1) - 1 * 100, t = 1.....10, s = n$$

#### A.23 Indicador I 26

- I 26. Inversión por dispositivo

$$\text{CINds vs CINds}+i$$

Si se quiere conocer cuanto se invirtió en cada escenario en un tipo de dispositivo, entonces se puede hacer la consulta solo de la variable CINds definida para el indicador anterior. Igualmente puede hacerse la comparación por escenarios:

$$\text{CINds vs CINds}+4, s = 1,.....,n$$

#### A.24 Indicador I 27

- I 27. Porcentaje de Vehículos por tipo

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} \times 100$$

Puede conocerse el porcentaje de vehículos por tipo en cada uno de los escenarios, por ejemplo conocer que porcentaje representan los taxis o los buses del total del parque automotor en cada escenario.

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} * 100. d = 1.....5, e=1 s = 13$$

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} * 100. d = 1.....5, e=2 s = 13$$

⋮

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} * 100. d = 1.....5, e=7 s = 13$$

⋮

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} * 100. d = 1.....5, e=1; s = 20$$

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} * 100. d = 1.....5, e=2; s = 20$$

⋮

$$\text{VEHdes} / \text{VEHds} * 100. d = 1.....5, e=7 ; s = 20$$

#### A.25 Indicador I 28

- I 28. Consumo Energético por Subsector Industrial en cada escenario

$$\text{CONIs}$$

Este indicador se formula basado en el parámetro del software ANSWER, FUELUSE.TCH, este parámetro entrega los resultados de consumo de energéticos para cada una de las tecnologías industriales. Una a una, estas tecnologías contienen en su código el subsector al que pertenecen, pudiéndose de esta manera hacer una discriminación del consumo para cada uno de los subsectores.

$$\text{CONIs} \quad I = 1,.....,13 s = 21$$

CONIs I= 1,.....,13 s = 22

⋮

CONIs I= 1,.....,13 s = 45

#### A.26 Indicador I 29

- I 29. Porcentaje del consumo Energético por Subsector industrial

CONIs/CONs x 100

Una vez se tiene el indicador de CONs para todas las tecnologías industriales, el cual se desarrolla mediante la suma de todos los parámetros FUELUSE.TCH se hace la distribución según el subsector industrial.

CONIs/CONs x 100. I= 1,.....,13 s = 21

CONIs/CONs x 100. I= 1,.....,13 s = 22

⋮

CONIs/CONs x 100. I= 1,.....,13 s = 44

CONIs/CONs x 100. I= 1,.....,13 s = 45

#### A.27 Indicador I 30

- I 30. Porcentaje del consumo total por dispositivo de demanda

CONds/CONs x 100

Al igual que en los indicadores 28 y 29 se toma el parámetro FUELUSE.TCH para encontrar el consumo discriminado por dispositivo, ya que este puede ser extraído también del código de cada una de las tecnologías de demanda industriales.

CONds/CONs x 100. d= 1,.....,19 s = 1

CONds/CONs x 100. d= 1,.....,19 s = 2

⋮

$$\text{CONds/CONs} \times 100. d= 6,\dots,19 s = 44$$

$$\text{CONds/CONs} \times 100. d= 6,\dots,19 s = 45$$

#### A.28 Indicador I 31

- I 31. Porcentaje del consumo total industrial por demanda industrial

$$\text{CONks/CONs} \times 100$$

Al igual que en los indicadores 28 y 29 se toma el parámetro FUELUSE.TCH para encontrar el consumo discriminado por demanda industrial, ya que la demanda industrial puede ser extraída también del código de cada una de las tecnologías de demanda industriales.

$$\text{CONks/CONs} \times 100. d= 1,\dots,19 s = 21$$

$$\text{CONks/CONs} \times 100. d= 1,\dots,19 s = 22$$

⋮

$$\text{CONks/CONs} \times 100. d= 1,\dots,19 s = 44$$

$$\text{CONks/CONs} \times 100. d= 1,\dots,19 s = 45$$

#### A.29 Indicador I 32

- I 32. Porcentaje de dispositivos industriales por tipo y energético en cada escenario

$$\text{TINdes} / \text{TINs} \times 100$$

A partir del parámetro INVEST.L del software ANSWER puede construirse la variable TIN para cada escenario. TIN será entonces la sumatoria de la inversión en dispositivos de demanda. Y al discriminar el parámetro INVEST.L puede extraerse para cada uno de los códigos de tecnologías de demanda en los que se invierte cual es el energético y el tipo de tecnología.

$$\text{TINeds/TINs} \times 100. e=1,3,8,\dots,20, d = 6, s=21$$

$$\text{TINeds/TINs} \times 100. e=1,3,8,\dots,20, d = 7, s=21$$

$TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 8, s=21$   
 $\vdots$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 18, s=21$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 19, s=21$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 20, s=21$   
 $\vdots$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 6, s=45$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 7, s=45$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 8, s=45$   
 $\vdots$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 17, s=45$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 18, s=45$   
 $TINeds/TINs \times 100. e=1,3,8.....20, d = 19, s=45$

### A.30 Indicador I 33

- I 33. Porcentaje de emisiones por subsector Industrial

$$EMIps/EMIps \times 100$$

Tomando los resultados arrojados en el parámetro EMISSION.L del software ANSWER se hace una desagregación de los estos, tal que se tengan solamente las emisiones por contaminante y por subsector industrial, todo esto se hace a través de los códigos de emisión.

$EMIps/EMIps \times 100. l=1,.....13, p = 1, s=21$   
 $EMIps/EMIps \times 100. l=1,.....13, p = 2, s=21$   
 $EMIps/EMIps \times 100. l=1,.....13, p = 3, s=21$   
 $EMIps/EMIps \times 100. l=1,.....13, p = 4, s=21$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 5, s=21$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 6, s=21$

$\vdots$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 1, s=45$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 2, s=45$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 3, s=45$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 4, s=45$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 5, s=45$

$EMIps/EMIps \times 100. l=1, \dots, 13, p = 6, s=45$

#### A.31 Indicador I 34

- I 34. Subsectores industriales por zona geográfica

IND<sub>l</sub>j

Partiendo de las tablas de información base para la elaboración del modelo puede hacerse una distribución geográfica de las industrias según el subsector al que pertenecen.

IND<sub>l</sub>j  $l= 1, \dots, 13 j = 1$

IND<sub>l</sub>j  $l= 1, \dots, 13 j = 2$

$\vdots$

IND<sub>l</sub>j  $l= 1, \dots, 13 j = 10$

IND<sub>l</sub>j  $l= 1, \dots, 13 j = 11$

#### A.32 Indicador I 35



- I 35. Porcentaje de emisiones por zona geográfica y por subsector industrial

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100$$

Tomando los resultados arrojados en el parámetro EMISSION.L del software ANSWER se hace una desagregación de los estos, tal que se tengan solamente las emisiones por contaminante y por subsector industrial distribuidos en cada una de las zonas geográficas de análisis todo esto se hace a través de los códigos de emisión.

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 1, s=21, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 2, s=21, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 3, s=21, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 4, s=21, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 5, s=21, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 6, s=21, j=1$$

⋮

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 1, s=45, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 2, s=45, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 3, s=45, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 4, s=45, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 5, s=45, j=1$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 6, s=45, j=1$$

⋮

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 1, s=21, j=34$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 2, s=21, j=34$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 3, s=21, j=34$$

$$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 4, s=21, j=34$$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 5, s=21, j=34$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 6, s=21, j=34$

$\vdots$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 1, s=45, j=34$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 2, s=45, j=34$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 3, s=45, j=34$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 4, s=45, j=34$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 5, s=45, j=34$

$EMI_{lpsj} / EMI_{psj} \times 100. l=1, \dots, 13, p = 6, s=45, j=34$

#### **A.33 Indicador I 36**

- I 36. Porcentaje de inversión en dispositivos industriales por subsector

$TIN_{lds} / TIN_{ds} \times 100$

Tomando los resultados obtenidos en el modelo MARKAL, especialmente el parámetro INVEST.L se hace una caracterización de la inversión en dispositivos según el subsector industrial, ya que la consulta se hace mediante el código de la tecnología, el cual contiene el subsector en el cual se hace la inversión.

$TIN_{lds} / TIN_{ds} \times 100. l=1, \dots, 13, d=6, s=21$

$TIN_{lds} / TIN_{ds} \times 100. l=1, \dots, 13, d=7, s=21$

$TIN_{lds} / TIN_{ds} \times 100. l=1, \dots, 13, d=8, s=21$

$\vdots$

$TIN_{lds} / TIN_{ds} \times 100. l=1, \dots, 13, d=17, s=21$

$TIN_{lds} / TIN_{ds} \times 100. l=1, \dots, 13, d=18, s=21$

$TIN_{lds} / TIN_{ds} \times 100. l=1, \dots, 13, d=19, s=21$

$\vdots$

$TINIds / TINds \times 100. l=1.....13, d=6, s=45$

$TINIds / TINds \times 100. l=1.....13, d=7, s=45$

$TINIds / TINds \times 100. l=1.....13, d=8, s=45$

$\vdots$

$TINIds / TINds \times 100. l=1.....13, d=17, s=45$

$TINIds / TINds \times 100. l=1.....13, d=18, s=45$

$TINIds / TINds \times 100. l=1.....13, d=19, s=45$

#### **A.34 Indicador I 37**

- I 37. Consumo de energéticos por zona geográfica

CONjs

Tomando el parámetro FUELUSE.TCH se agregan mediante el código de cada uno de los dispositivos de demanda todos aquellos que están ubicados dentro de una misma zona geográfica, de esta manera es posible tener un valor agregado del consumo para cada una de estas.

CONjs  $j= 1,.....,34 s = 1$

CONjs  $j= 1,.....,34 s = 2$

$\vdots$

CONjs  $j= 1,.....,34 s = 44$

CONjs  $j= 1,.....,34 s = 45$

#### **A.35 Indicador I 38**

- I 38. Porcentaje del consumo energético por zona geográfica

CONjs/CONs  $\times 100$

Después de obtener el indicador anterior, y utilizando el total del consumo energético para todo el Valle de Aburra partiendo del parámetro del software ANSWER FUELUSE.TCH, también ya definido como un indicador, se procede a hacer una operación entre ambos indicadores que da como resultado el siguiente indicador.

$$\text{CONjs/CONs} \times 100 \quad j=1.....34, s=1$$

$$\text{CONjs/CONs} \times 100 \quad j=1.....34, s=2$$

⋮

$$\text{CONjs/CONs} \times 100 \quad j=1.....34, s=44$$

$$\text{CONjs/CONs} \times 100 \quad j=1.....34, s=45$$